

Anat. 154-

Eckhard

Grundzüge

der

Physiologie des Nervensystems.

Von

Dr. C. Eckhard,

Prosector an der Anatomie und Assistent des physiologischen Instituts zu
Gießen.

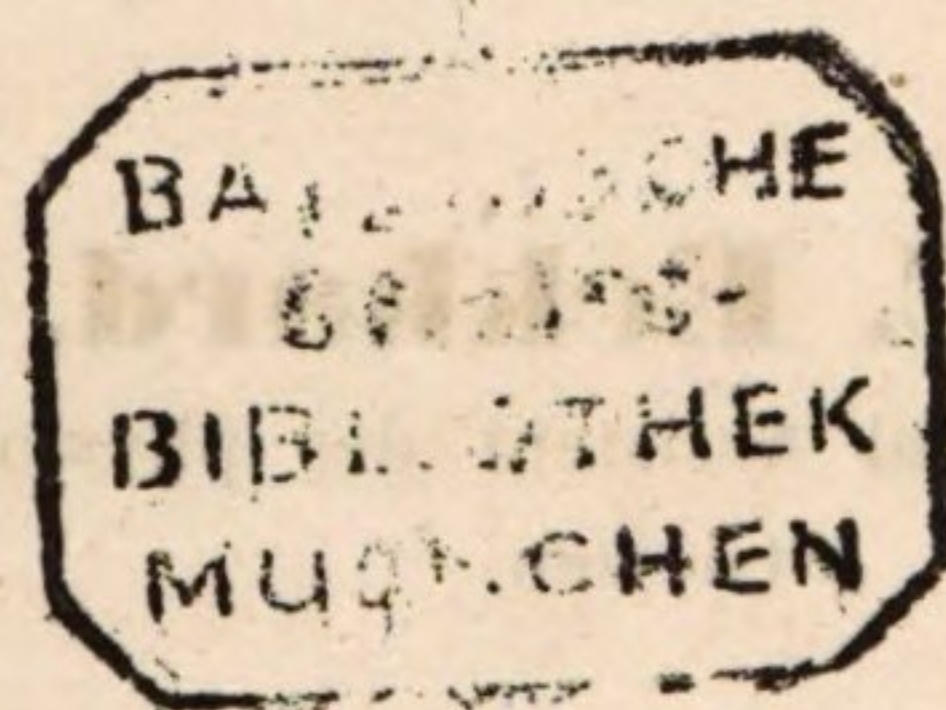
Gießen, 1854.

J. Ricker'sche Buchhandlung.

271. D.

Ergebnisse

Physiologie des Herzkreislaufs



Vorwort.

Das vorliegende, kleine Werk, welches seine erste Entstehung meinen Vorlesungen über Nervenphysiologie verdankt, welche ich seit einigen Jahren an der hiesigen Universität gehalten habe, ist für Diejenigen bestimmt, welche sich mit diesem Zweige der Physiologie in seiner gegenwärtigen Ausbildung bekannt zu machen wünschen, ohne sämtliche Originaluntersuchungen besonders studiren zu müssen. Der Titel Grundzüge will zu verstehen geben, daß man hier nicht alle einzelnen, in der Literatur der Nervenphysiologie angehäuften Angaben zu suchen habe, sondern daß hier nur diejenigen Lehren, welche wissenschaftlich begründet sind und diejenigen Fragen, um deren Lösung sich die Bestrebungen der Gegenwart und nächsten Zukunft drehen, in einer möglichst einfachen Form dargelegt sind. Ich glaube vorauszu-
sehen, daß man mich über drei Punkte tadeln wird und erlaube mir daher, mich schon jetzt darüber zu rechtfertigen. Erstlich wird man vielleicht die physikalische Einleitung überflüssig finden.

Sie mag dies in der That insofern sein, als man wegen ihrer Kürze aus ihr die zum Studium der heutigen Nervenphysiologie nothwendigen Lehren der Electricität allerdings nicht lernen wird. Ich hatte aber auch nur den Zweck, auf diejenigen Lehren aufmerksam zu machen, deren gründliche Kenntnifs unerläßlich ist und glaube dem Anfänger insofern einen Dienst damit erwiesen zu haben, als er für diese die ersten Grundlagen hier findet. Fürs Zweite wird man die Histologie des Nervensystems vermissen oder zum mindesten auf ihre Resultate wenig Rücksicht genommen sehen. Dies ist allerdings wahr, aber ich habe die Ueberzeugung gewonnen, daß die microscopische Anatomie, wenn nicht immer, doch oft, sich auf dem bedauernswerthen Abwege befindet, den Formen ohne Zweck nachzujagen, ihre Description zur Hauptsache zu machen und zu vergessen, daß wo es sich um die Erforschung von Kräften handelt, die Methode im Wesentlichen nur eine experimentirende sein kann, mithin die Beobachtung der Form allein ganz und gar Nichts über die Natur der Kraft aussagt, sondern nur die Bedeutung hat, daß sie in Verbindung mit dem Experiment die materiellen Grundlagen der Kräfte kennen lehrt und daher der weitem Forschung nur andeutend und die Untersuchung erleichternd zur Seite stehen kann. Wo sich die Microscopie in der Nervenphysiologie diese bescheidene Bedeutung bewahrt hat, habe ich sie auch nach Gebühr berücksichtigt. Drittens endlich wird man die mehr den speciellen Theil der Nervenphysiologie betreffenden Mittheilungen kurz finden. Ich glaubte es aber der Wissenschaft schul-

dig zu sein, die schönen Anfänge, welche die Nervenphysiologie in neuerer Zeit, namentlich durch die Einführung einer ächt physikalischen Behandlungsweise, gemacht hat, nicht zu verunstalten durch die Darlegung von Angaben, die allein schon wegen der Liederlichkeit ihrer Methode der Vergessenheit anheim gegeben zu werden verdienen.

Gießen, im November 1853.

Dr. C. Eckhard.

die zu sein, die sich in der Folge, welche die Ver-
 suchsreihe in einem Zeit raum durch die
 Fortsetzung einer aus physikalischen Beobachtungen
 wurde, konnte hat, nicht zu verstehen durch die
 Darstellung von Angaben, die alle schon wegen der
 Fülle der Materie der / ersichtlich sind
 gegeben zu werden vermögen.

Giessen im November 1853.

H. E. Reichenow.

Inhalt.

Einleitung.

	Seite
§. 1. Grundbegriffe, offene Säule	1
§. 2. Die geschlossene Kette, Begriff der Stromstärke, Leitungswiderstand, Ohmsches Gesetz, Spannungserscheinungen der geschlossenen Kette	6
§. 3. Wirkung des galvanischen Stromes auf die Magnetnadel . .	11
Sinusboussole	13
Multiplicator	14
§. 4. Von den Erscheinungen, wenn der galvanische Strom Flüssigkeiten durchsetzt — galvanische Polarisation, Vermeidung derselben, constante Ketten	23
§. 5. Lehre von der Induction, Inductionsapparate	28

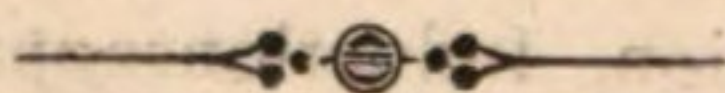
Nervenphysik.

§. 6. Chemische und physikalische Eigenschaften der Nervensubstanz im Allgemeinen	36
§. 7. Galvanisches Leitungsvermögen des Nerven — ruhender Nervenstrom	38
§. 8. Der Electrotonus	46
§. 9. Die electricen Eigenschaften des tetanisirten Nerven . .	54

Nervenphysiologie.

§. 10. Die von dem Nervensystem abhängigen Erscheinungen des thierischen Körpers im Allgemeinen	58
§. 11. Der Innervationsvorgang	66
a) Erscheinungen und Gesetze der Reizung	68
b) Abhängigkeit der Thätigkeitsäußerungen des Nerv-Muskelpräparates von besondern dasselbe treffenden Einwirkungen	85
c) Versuch einer Vorstellung über das Wesen des Innervationsvorganges	88

§. 12.	Physiologie der Centralorgane und ihrer einzelnen Nerven.	
A.	Das Gehirn und seine Nerven.	
1)	Automatische Erregungen des Gehirns	97
2)	Reflectorische Erscheinungen des Gehirns	99
3)	Das Empfinden	108
4)	Die willkürliche, motorische Erregung	119
5)	Physiologie der Hirnnerven	125
B.	Das Rückenmark und seine Nerven.	
1)	Verlauf der Nervenenerregungen im Rückenmark	139
2)	Automatische Erregungen des Rückenmarks	147
3)	Reflectorische Erscheinungen des Rückenmarks	150
4)	Verbreitung der Rückenmarksnerven	153
C.	Die Ganglien und der Sympathikus.	
1)	Sensibilität der vom Sympathikus versorgten Theile	156
2)	Automatische Erregungen im Gebiete des Sympathikus	158
3)	Reflectorische Erscheinungen im Gebiete des Sympathikus	163
4)	Die vom Sympathikus versorgten Theile	165
	Literatur der Physiologie des Nervensystems	167





Einleitung.

§. 1.

Grundbegriffe, offene Säule.

Die Nervenwirkungen sind *wesentlich electrischer* Natur. Daher ist es nöthig, daß man sich mit den Lehren der Electricität, zum mindesten nach denjenigen Beziehungen hin bekannt mache, in welchen sie in der Nervenphysiologie in Anwendung kommen. Insbesondere sind es die Erscheinungen des *Galvanismus*, *Electromagnetismus* und der *Electrodynamik*, mit denen man vertraut sein muß. Diese sollen daher hier in ihren Hauptzügen dargestellt werden.

Wenn zwei heterogene Körper mit einander in Berührung gebracht werden, so nehmen sie *von einander verschiedene electrische Zustände* an. Am frühesten hat man dies bei der Berührung zweier verschiedener Metalle beobachtet. In der That lassen sich auch alle hierher gehörigen Erscheinungen sicher und leicht an einer einfachen Metallcombination, z. B. einer solchen von *Zink* und *Kupfer* studiren. Finden sich eine Zink- und eine Kupferplatte in Berührung, so verbreitet sich auf der erstern *positive*, auf der letztern *negative* Electricität. Beide Electricitäten finden sich aber ihrem größten Theile nach im Zustand *wechselseitiger Bindung* und nur sehr kleine Mengen im *freien, ableitbaren* Zustand. Jede der beiden letztern besitzt eine gewisse *Dichte*, oder *Spannung*, deren

Gröfse indess weit hinter der der Reibungselectricität *zurückbleibt* und nur mittelst besonderer, zum Theil complicirter Vorrichtungen zur Anschauung gebracht und *gemessen* werden kann. Doch liegt das Charakteristische der gedachten und jeder ähnlichen Metallcombination weniger in dem *blofsen Ausscheiden* entgegengesetzter Electricitäten, als vielmehr darin, dafs der *Unterschied der Spannungen* der ausgeschiedenen Electricitäten für jede besondere Metallverbindung ein *constanter* ist. Nennt man die Spannung der auf der Zinkplatte befindlichen freien positiven Electricität $+ S$, die der auf der Kupferplatte vorhandenen freien negativen $- S$, so erhält man :

$$1) + S - (- S) = 2 S = C$$

als Ausdruck für den gedachten Unterschied. Die Kraft, welche man sich als Ursache dieses unveränderlichen Spannungsunterschiedes denkt, heifst *electromotorische*, jene wichtige Constante, *electrische Differenz* der jedesmal mit einander in Berührung gebrachten Metalle, die Verbindung dieser selbst ein *einfacher Electromotor*.

Ein solcher hat nun ferner die höchst wichtige Eigenschaft, *dafs er unter allen Umständen seinen constanten Spannungsunterschied behauptet*. Es ist daher derselbe unabhängig von der *Gröfse der sich berührenden Flächen*, der *Form und Gröfse der verbundenen Metallstücke* und allen denjenigen äufsern Einflüssen, welche die Natur der Metalle nicht ändern. Es führt zu einigen weitem wichtigen, in der Physik gebräuchlichen Ausdrücken für die Eigenschaften der offenen Säule, sich das letztere an Beispielen klar zu machen. Wir setzen erstens einen einfachen Electromotor voraus, dessen beide Metallstücke von gleich grofser Oberfläche sind und nehmen an, es werde einer der Platten, z. B. der Kupferplatte eine gewisse Menge positiver Electricität zugeführt. Was geschieht? Sie breitet sich über beide Platten gleichmäfsig aus, die Dichte der freien, positiven Electricität auf dem Zink nimmt zu, die der negativen des Kupfers ab, wird nach Umständen gerade gesättigt, oder ist auch nur mit positiver Electricität behaftet. Aehnliches findet statt, wenn man dem

System negative Electricität mittheilt. Aber durch die electromotorische Kraft wird der constante Spannungsunterschied der Electricitäten beider Metallplatten festgehalten; unbekümmert um die *Art* der beiden Electricitäten ist er stets $= 2 S$, so dafs wenn man mit α die veränderte Spannung auf jeder der beiden Platten in Folge der *mitgetheilten* Electricität bezeichnet, man stets

$$2) \quad (+ S + \alpha) - (- S + \alpha) = 2 S$$

für *jeden Werth* und *jedes Vorzeichen* von α hat. *Mittheilung also von verschiedener Electricität und in verschiedener Gröfse tilgt an jeder electromotorischen Combination nicht deren constanten electrischen Spannungsunterschied.* Wir denken uns zweitens, dafs die Zinkplatte mit einer an Oberfläche n mal so grofsen Kupferplatte in Berührung sei. Sobald der constante electrische Unterschied hergestellt ist, wird die Dichte der auf der Zinkplatte vorhandenen Electricität n mal so grofs sein, als die der auf dem Kupfer; nennt man die letztere x , so ist erstere nx und es mufs sein :

$$3) \quad + nx - (- x) = 2 S. \quad \text{Hieraus ergibt sich}$$

$$4) \quad x = \frac{2 S}{n+1}$$

als Ausdruck für die electrische Dichte auf der Kupferplatte. Wird die Kupferplatte unendlich grofs genommen, was man als identisch damit ansehen kann, dafs man sie in leitende Verbindung mit der Erdoberfläche setzt, so besagt der Ausdruck

$$5) \quad x = \frac{2 S}{\infty} = 0,$$

dafs für diesen Fall die electrische Dichte auf der negativen Platte $=$ Null ist. Weil aber auch für diesen Fall das Gesetz der constanten electrischen Differenz gewahrt werden mufs, so folgt, dafs alsdann die Spannung auf der positiven Platte $= 2 S$ sein mufs. Man drückt dies gewöhnlich in der Physik so aus: *Wird ein Pol der offenen Kette ableitend berührt, so wird dadurch an ihm die Spannung Null, am andern doppelt so grofs, als wenn bei gleicher Gröfse der Platten keine Berührung statt gefunden hätte.* (Siehe unipolare Inductions-zuckungen).

Es wurde bereits erwähnt, daß der Werth des constanten, electrischen Spannungsunterschiedes von der Natur der sich berührenden Metalle abhängt. Man hat nun weiter ermittelt, daß sich diese, wie alle einfachen chemischen Stoffe (selbst einige zusammengesetzte, insbesondere Oxyde und Schwefelmetalle) in eine Reihe, die sogenannte *Spannungsreihe* ordnen lassen, aus welcher nicht allein zu ersehen ist, *welcher Art* die Electricität ist, wenn zwei Körper aus ihr mit einander berührt werden, sondern sich auch im Allgemeinen eine Vorstellung gewinnen läßt über die relative Gröfse des electrischen Spannungsunterschiedes verschiedener Metallcombinationen. Einige, später für unsere Zwecke zu berücksichtigende Glieder dieser Spannungsreihe sind :

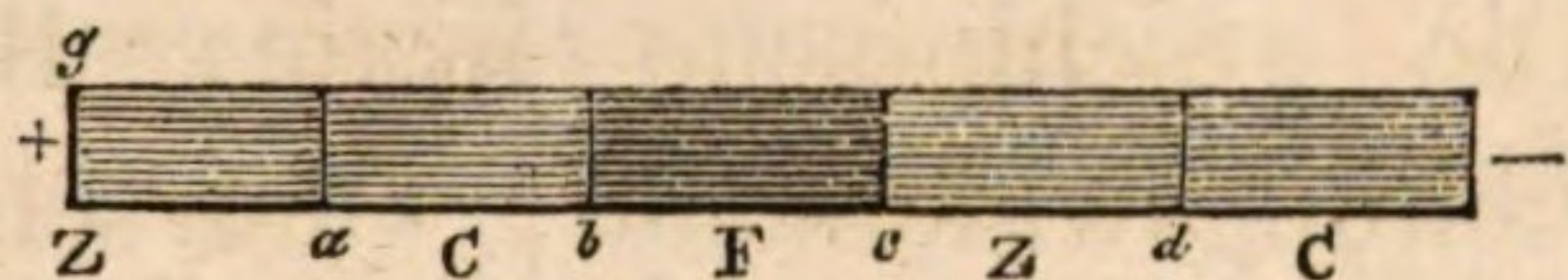
—
 Sauerstoff
 Kohlenstoff
 Platin
 Silber
 Kupfer
 Eisen
 Zink
 Wasserstoff
 +

Dem Gesagten gemäß wird irgend einer dieser Körper, berührt mit einem ihm in der Reihe nachfolgenden, negativ electrisch und zwar um so stärker, je näher der andere dem Wasserstoff in der Spannungsreihe steht. Der eigentliche Werth der Spannungsreihe beruht jedoch in der durch electrometrische Messungen erkannten Thatsache, *daß die durch den Contact zweier Glieder der Spannungsreihe erzeugte Differenz der Spannung gleich ist der Summe der Spannungsunterschiede aller Zwischenglieder*, woraus, wie eine einfache Ueberlegung zeigt, folgt, *daß die electrische Differenz einer Combination beliebig vieler Metalle gleich ist der electrischen Differenz der Endglieder*.

Da die Spannungen an den Enden eines einfachen Electromotors ungemein schwach sind, so sucht man sie durch

Aneinanderfügen mehrerer Paare derselben Metallcombination zu vermehren. Dieser Zweck kann jedoch nur erreicht werden, wenn zwischen je ein Plattenpaar ein nicht in die Spannungsreihe gehöriger Körper, gewöhnlich eine Flüssigkeit, eingeschoben wird; denn ohne dies würden nach dem Satz, daß die electricische Differenz einer, aus beliebig vielen Metallstücken bestehenden Verbindung immer gleich ist der Differenz der Endglieder, doch nur eine einfache offene Kette vorhanden sein. Man nennt eine solche aus mehreren electromotorischen Metallpaaren und feuchten Scheiben gebildete Vorrichtung eine *Säule*. Die Bedeutung der Flüssigkeitsschicht beruht nun darin, daß sie das Zustandekommen einer electromotorischen Berührungsstelle, welche eine andere aufheben würde, verhütet, und an deren Stelle eine wirksame setzt. An folgendem Beispiel wird ihre Wirkung, sowie der Vorgang in der mehrelementigen offenen Säule klar werden.

In beistehender Figur 1 haben wir zwei Zinkkupferplatten getrennt von einan-



der durch die Wasser- oder Säureschicht F. Zu Folge der Berührung bei a wird, entsprechend der electricischen Differenz Zn Cu auf dem Zink positive, auf dem Kupfer negative Electricität ausgeschieden, welche letztere sich ungehindert über den übrigen Theil des Systems ausbreitet. Durch die Berührungsstelle bei b wird das Kupfer negativ, die feuchte Schicht dagegen positiv *). Da sich die hierdurch erzeugte negative Electricität vom Kupfer ungehindert über das mit ihm verbundene Zink ausbreitet, so wird die Spannung der positiven Electricität auf demselben abnehmen und dasselbe wird mit der der negativen Electricität auf dem rechts von b befindlichen Theile des Systems der Fall sein, indem sich über denselben gleichfalls unbehindert die in der Flüssigkeit durch das Kupfer erregte positive Electricität verbreitet. Die bei c

*) Es muß hier bemerkt werden, daß die meisten Metalle durch Wasser und Säuren negativ electricisch werden, aber in verschiedenem Grade.

wirkende, electromotorische Kraft bewirkt, daß das Zink negativ aber in höherem Grade als vorher das Kupfer und das Wasser entsprechend positiv wird. Folglich nimmt jetzt die Spannung der positiven Electricität auf dem Zink der ersten Zinkkupferplatte wieder zu und zwar um mehr, als sie in Folge der Berührung bei b abgenommen hatte. Ein gleiches gilt für die der bis zum Kupfer der zweiten Zinkkupferplatte verbreiteten negativen Electricität. Endlich erhalten die an den Polen hervortretenden Spannungen noch einen entsprechenden Zuwachs durch die Berührungsstelle bei d. Führt man so fort zwischen je zwei Zinkkupferplatten flüssige Schichten einzuschalten, so tritt eine proportionale Vergrößerung der Spannung an den Polen auf:

§. 2.

Die geschlossene Kette, Begriff der Stromstärke, Leitungswiderstand, Ohm'sches Gesetz, Spannungserscheinungen der geschlossenen Kette.

In der offenen Säule befinden sich beide Electricitäten in Ruhe. Für den Physiologen hat indess die *bewegte* Electricität, der galvanische Strom, ein weit größeres Interesse. Um nun die einfache oder zusammengesetzte offene Säule in eine geschlossene Kette zu verwandeln, ist es nöthig, ihre beiden Pole durch einen leitenden Bogen mit einander in Verbindung zu setzen. Hier gilt aber als oberste Regel, daß der geschlossene galvanische Kreis nie rein metallisch sein kann. Die einfache Kette verlangt daher bei ihrer Schließung noch die Einschaltung einer Flüssigkeit, denn ohne diese würden sich die in ihr vorkommenden electromotorischen Stellen gegenseitig zerstören*). Bei der zusammengesetzten dagegen reicht ein einfaches Drahtstück aus; doch erinnere man sich stets,

*) Bei Nervenreizungen reicht natürlich zur Herstellung des Stromes eine bloße Zink-kupfercombination aus, weil der zwischen die beiden Metalle genommene Nerv die feuchte Schicht selbst bildet.

um sich nicht über die *Anzahl* der wirksamen electromotorischen Combinationen zu täuschen, dafs jedes Zinkkupferpaar nur in Verbindung mit einer feuchten Schicht ein wirksames Glied der Kette ausmacht und dafs folglich die Anzahl der wirksamen Elemente der zusammengesetzten Kette mit der Anzahl der eingeschalteten Flüssigkeitsschichten übereinstimmt. Wollte man also die zusammengesetzte Säule in Fig. 1 mit einem Kupferdraht zur Kette schliessen, so würde man doch nur eine *einfache* geschlossene Kette erhalten, denn es würden sich die beiden Berührungsstellen bei d und die neu zu bildende bei g gegenseitig zerstören.

In der geschlossenen Kette nun strömen fortwährend beide Electricitäten zu einander über und an den electromotorischen Stellen werden sie in demselben Maasse fortwährend wieder erzeugt. Zu Folge aber einer alten *Observanz* wird durch die Angabe, nach welcher Seite hin sich die *positive* Electricität bewegt, die *Richtung* des Stromes bezeichnet.

Die *Menge* Electricität, welche in der Zeiteinheit durch einen beliebigen Querschnitt des Schliessungsbogens fließt, heisst *Stromstärke*. Man darf überhaupt und namentlich in der Nervenphysiologie nicht *Stromstärke* mit *Stromdichte* verwechseln. Da nämlich in der geschlossenen Kette durch *jeden* beliebig gewählten Querschnitt eine gleich grofse Electricitätsmenge fließt, welches man sowohl durch Versuche, indem die magnetischen und chemischen Effecte aller Orten gleich sind, als auch durch ein genaueres Eingehen in die Theorie des galvanischen Stromes erkannt hat; so mufs je nach der verschiedenen Gröfse der Querschnitte die dieselben passirende Electricitätsmenge mehr oder weniger dicht zusammengedrängt sein. Je kleiner also der Querschnitt, desto dichter in ihm bei gleicher Stromstärke die sich durch denselben bewegende Electricität. Man pflegt daher durch :

$$6) \quad d = \frac{s}{q}$$

die *Stromdichte* zu bezeichnen, wenn s die *Stromstärke* und q die Gröfse des ins Auge gefafsten Querschnittes bedeuten. Die Stromstärke nun ist abhängig, einestheils von der *Gröfse*

der *electromotorischen Kraft* k , d. h. also von derjenigen Kraft, welche eine constante Differenz der Spannungen der durch den Contact zweier Metalle ausgeschiedenen Electricitäten behauptet und in Folge deren die einzelnen Theilchen dieser mit derselben Kraft repulsiren, so dafs die Menge der während der Zeiteinheit durch jeden Querschnitt des Schliefsungsbogens sich bewegenden Electricität der Gröfse jener treibenden Kraft proportional wächst; anderntheils von der Summe sämmtlicher *Leitungswiderstände* L und zwar so, dafs mit dem Wachsthum dieser die Stromstärke proportional abnimmt. Beide Beziehungen lassen sich, wenn man mit S die Stromstärke bezeichnet, durch

$$7) \quad S = \frac{k}{L}.$$

ausdrücken, welche Formel man das *Ohm'sche Gesetz* nennt.

Der *Leitungswiderstand* ist abhängig aufser von nicht näher gekannten Eigenthümlichkeiten des zum Stromleiter verwandten Stoffes, von dessen *Form*, *Länge* und *Querschnitt*. Seine Abhängigkeit von der Form läfst sich für die allermeisten Fälle nicht einfach ausdrücken, sondern es bedarf dazu besonderer Versuche und Rechnungen. Haben aber die Stromleiter überall gleich geformte Querschnitte, so verhalten sich ihre Widerstände umgekehrt wie die Gröfsen der Querschnitte und sind diese congruent, so verhalten sich jene direct, wie die Längen. Man kann daher den Leitungswiderstand, insofern derselbe von der Länge l und dem Querschnitt q abhängig ist, als durch die Formel :

$$8) \quad L = \frac{l}{q}$$

ausgedrückt ansehen. Aufserdem ist der Leitungswiderstand noch in hohem Grade von der *Temperatur* abhängig; bei den Metallen *nimmt er mit zunehmender Temperatur gleichfalls zu*, bei den *Flüssigkeiten dagegen ab*. Die folgende Tabelle enthält die Leitungswiderstände mehrerer Stoffe, insofern sie von deren molekularen Eigenthümlichkeiten abhängen und welche man deshalb die *specifischen* Leitungswiderstände nennt. Man präge sich besonders den ungemein *grossen* Leitungswiderstand der *Flüssigkeiten* im Vergleich zu dem der *Metalle* ein.

Kupfer	.	.	.	.	.	=	1
Silber	.	.	.	.	.	=	0,954
Eisen	.	.	.	.	.	=	6,4
Neusilber	.	.	.	.	.	=	11,8 bis 13,3
Concentrirte Kochsalzlösung	.					=	6515000
Concentrirte Kupfervitriollösung						=	10963600.

Mit Hilfe der Ohm'schen Formel lassen sich folgende, wichtige Beziehungen zwischen Stromstärke, Leitungswiderstand und electromotorischer Kraft einsehen :

1) Bietet der in die Kette eingeschaltete Schließungsbogen einen *sehr grossen* Widerstand, wie es durchgängig bei neurologischen und thierisch electrischen Versuchen überhaupt der Fall ist, so erhält man eine Vergrößerung der Stromstärke nur durch eine *Vermehrung der Anzahl* der electromotorischen Elemente. Denn zu Folge des Ohm'schen Gesetzes hat man, wenn man den Leitungswiderstand des Schließungsbogens durch λ und den des Elementes mit L bezeichnet :

$$9) S = \frac{k}{L + \lambda}$$

Fügt man n Elemente hinter einander zusammen, so erhält man :

$$10) S = \frac{n k}{n L + \lambda},$$

woraus ersichtlich, daß wenn $n L$ gegen λ als verschwindend angesehen werden kann, nach

$$11) S = \frac{n k}{\lambda}$$

eine nahezu mit der Anzahl der Elemente proportionale Zunahme der Stromstärke erreicht wird. Ist aber der Leitungswiderstand des Schließungsbogens sehr klein, so daß λ gegen $n L$ verschwindet, so würde nach

$$12) S = \frac{n k}{n \lambda} = \frac{k}{L}$$

keine Zunahme der Stromstärke erhalten werden.

2) Findet dagegen der electrische Strom im Schließungsbogen einen *sehr geringen* Widerstand vor, so kann eine Verstärkung des Stromes nur durch eine *Vergrößerung des Querschnittes* der Elemente erhalten werden. Denn wird der Quer-

schnitt eines Elementes n mal vergrößert, so wird der ihm zugehörige Widerstand L in Folge seines n mal größeren Querschnittes $= \frac{L}{n}$ und die Formel :

$$13) S = \frac{k}{\frac{L}{n} + \lambda} = \frac{n k}{L + n \lambda}$$

besagt, daß die Stromstärke nahezu n mal größer geworden sei. Wer es liebt, sich durch eine ihm geläufigere physikalische Erscheinung die Beziehungen zwischen k , S und L klar zu machen, denke sich einen Cylinder mit Wasser gefüllt, auf die Oberfläche desselben einen Kolben mit einer gewissen Kraft gedrückt und das Wasser durch eine lange Röhre abfließen. Die Menge Wasser, welche alsdann in der Zeiteinheit durch einen beliebigen Querschnitt der Röhre fließt, entspricht dem S , die drückende Kraft dem k und die Länge der Röhre mit all ihren sonstigen, auf den Durchgang des Wassers Bezug habenden Eigenthümlichkeiten, dem L in der Ohm'schen Formel.

Wenn man die geschlossene Kette auf verschiedenen Punkten ihrer Oberfläche mit sehr feinen, besonders zu diesem Zweck erfundenen Instrumenten prüft, so findet man, daß sie überall noch gewisse Mengen freier, ableitbarer Electricität enthält. Ist der Schließungsbogen überall von gleicher Beschaffenheit und gleichem Querschnitt, so ergibt sich in seiner Mitte die Spannung Null, von wo aus nach der einen Seite hin die der negativen, nach der andern hin dagegen die der positiven Electricität stetig, und zwar auf gleiche Längen um gleich viel zunimmt. Fehlt dem Schließungsbogen jene Beschaffenheit, so nehmen auch die Spannungen der freien Electricität in discontinuirlicher Weise zu und diese Unterbrechung der Stetigkeit findet dann immer an denjenigen Punkten statt, an welchen sich, sei es durch natürliche Beschaffenheit oder Form, die Widerstände ändern. Diese Thatfachen ergeben sich als einfache Folgen des Leitungswiderstandes, sind jedoch erst in neuerer Zeit schärfer untersucht und mit der Theorie in Uebereinstimmung gebracht worden. Von Wichtigkeit ist noch die Bemerkung, welche sich übrigens schon von selbst

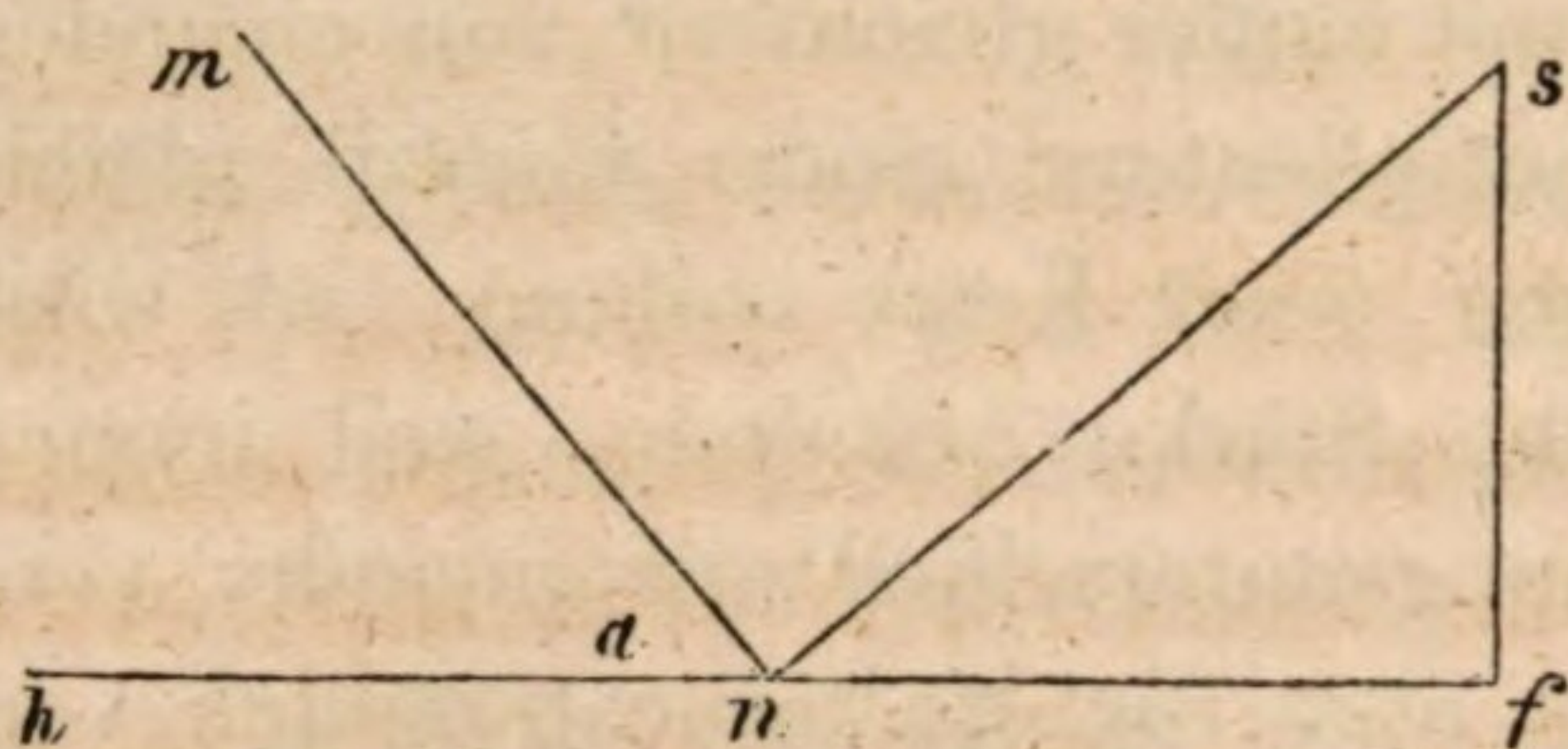
versteht, daß wenn man von dem Schließungsbogen einer Kette Ströme, etwa in einen Multiplicator, ableiten will, die Gröfse derselben aufer von dem Widerstand, welchen der Multiplicator bietet, abhängig ist von der Differenz der Spannungen der beiden Punkte an welchen die Enden jenes angelegt sind. Bewegt man sich mit immer gleichweit von einander abstehenden Enden des Multiplicators einem überall gleich beschaffenen Schließungsbogen einer Kette entlang, so wird der abgeleitete Strom gleiche Stärke behalten, weil immer Punkte von gleichem Spannungsunterschied mit einander verbunden sind. Je mehr man aber die Multiplicatorenden von einander entfernt, desto gröfser wird der Strom, weil dann jener Spannungsunterschied immer mehr und mehr wächst. Man sehe die Anwendung dieser Sätze in den Abschnitten: Theorie des Nervenstroms, unipolare Zuckungen.

§. 3.

Wirkung des galvanischen Stromes auf die Magnetnadel.

Jeder Theil eines von einem electrischen Strom durchflossenen Leiters, die Flüssigkeiten nicht ausgenommen, zeigt magnetische Eigenschaften. Nicht blofs zieht ein solcher Draht Eisenfeilspäne an, sondern er lenkt auch die in seiner Nähe aufgestellte Magnetnadel nach bestimmten Gesetzen ab. Als Fundamentalsatz dieses Gebietes gilt folgender: *Der Druck, welchen der electrische Strom auf die Magnetnadel ausübt, geschieht immer senkrecht gegen die electromagnetische Wirkungsebene.* Dies ist eine Ebene, welche man sich durch einen Pol der Nadel und zwei Punkte des geradlinigt an demselben vorbeilaufenden Stromleiters gelegt denkt. So lange daher der ablenkenden Kraft des Stromes keine andere Kraft entgegenwirkt, muß sich eine Magnetnadel, wenn ein Strom parallel ober- oder unterhalb derselben verläuft, senkrecht auf die Richtung desselben stellen, wie dies z. B. in der That der Fall ist mit einer Magnetnadel, welche dadurch,

dafs ihre Schwingungsebene senkrecht auf der Inclinations-ebene des Ortes steht, der *erdmagnetischen* Kraft entzogen ist. Durch Anwendung dieses Grundsatzes kann man sich nun auch leicht eine Vorstellung über die Wirkungsgröfse des Stromes für jede beliebige Lage des Stromleiters zur Magnet-



nadel machen. Denn es sei *n* Fig. 2 der Nordpol der Nadel, *h n* eine Linie ihrer Schwingungsebene, *m* ein Punkt der geraden, senkrecht gegen die Ebene des Papiers angelegten Strombahn, dann ist *m n* eine Linie in der electromagnetischen Wirkungsebene; mithin geschieht der Druck auf *n* in der auf *m n* senkrechten Richtung *n s*. Die Gröfse *J* dieser Kraft läfst sich aber in *s f* und *n f* zerlegen, von denen erstere im Stützpunkt der Nadel verloren geht und nur die horizontale Composante $n f = J \cdot \sin \alpha$ zur Wirksamkeit gelangt; d. h. *die ablenkende Kraft des Stromes ist proportional dem Sinus des Winkels zwischen der Schwingungsebene der Nadel und der electromagnetischen Wirkungsebene des Stromes*. Ist $\alpha = 90^\circ$, d. h., steht die electromagnetische Wirkungsebene *senkrecht* auf der Schwingungsebene, so ist $\sin \alpha = 1$ und $n f = J$ erhält sein Maximum; ist dagegen $\alpha = 0$, so ist auch die ablenkende Kraft des Stromes gleich Null. Diese Betrachtungen enthalten den Grund dafür, dafs in allen galvanometrischen Meßwerkzeugen der Strom in einer zur Horizontalebene senkrechten Bahn geführt ist; denn es ist am leichtesten eine Magnetnadel ohne bedeutende Widerstände in *horizontaler* Richtung schwingen zu lassen.

Das vorerwähnte Gesetz sagt durchaus Nichts aus über die *Richtung*, nach welcher hin sich der eine oder andere Pol der Nadel bewegt. Aber auch diese ist erfahrungsmäfsig bestimmt. Man hat dafür verschiedene Ausdrücke gewählt. Der für unsere Zwecke passendste, wenn auch vielleicht gerade nicht wissenschaftlichste, ist dieser: *Man denke sich im positiven Strom schwimmend, den Kopf voran, die Nadel im Auge, so wird der Nordpol stets nach links abgelenkt.*

Auf die Ablenkung der Magnetnadel durch den Strom gründen sich mehre wichtige, physikalische Apparate, welche theils zur *Messung der Stärke* der Ströme, theils nur zur *Nachweisung der Existenz* solcher dienen. Wir heben als für den Physiologen wichtig die Sinusboussole und den Multiplicator heraus.

Die Sinusboussole.

Sie besteht aus einem Metallkreis oder auch aus mehreren Drahtwindungen. Durch eine besondere Vorrichtung, etwa eine Schraube ohne Ende, kann die Ebene des Drahtkreises um eine verticale, durch den Mittelpunkt desselben gehende Axe gedreht und die Gröfse der Drehung an einer horizontalen Theilung abgelesen werden. Vor Schluss des zu messenden Stromes wird der Metallkreis in den magnetischen Meridian eingestellt, hierauf der Strom geschlossen, mit der Ebene des Metallkreises der Nadel so lange gefolgt, bis beide wieder in einer und derselben Ebene liegen. Die Stärken verschiedener Ströme verhalten sich dann wie die Sinus der Drehungswinkel. Dies ergibt sich durch Betrachtung der

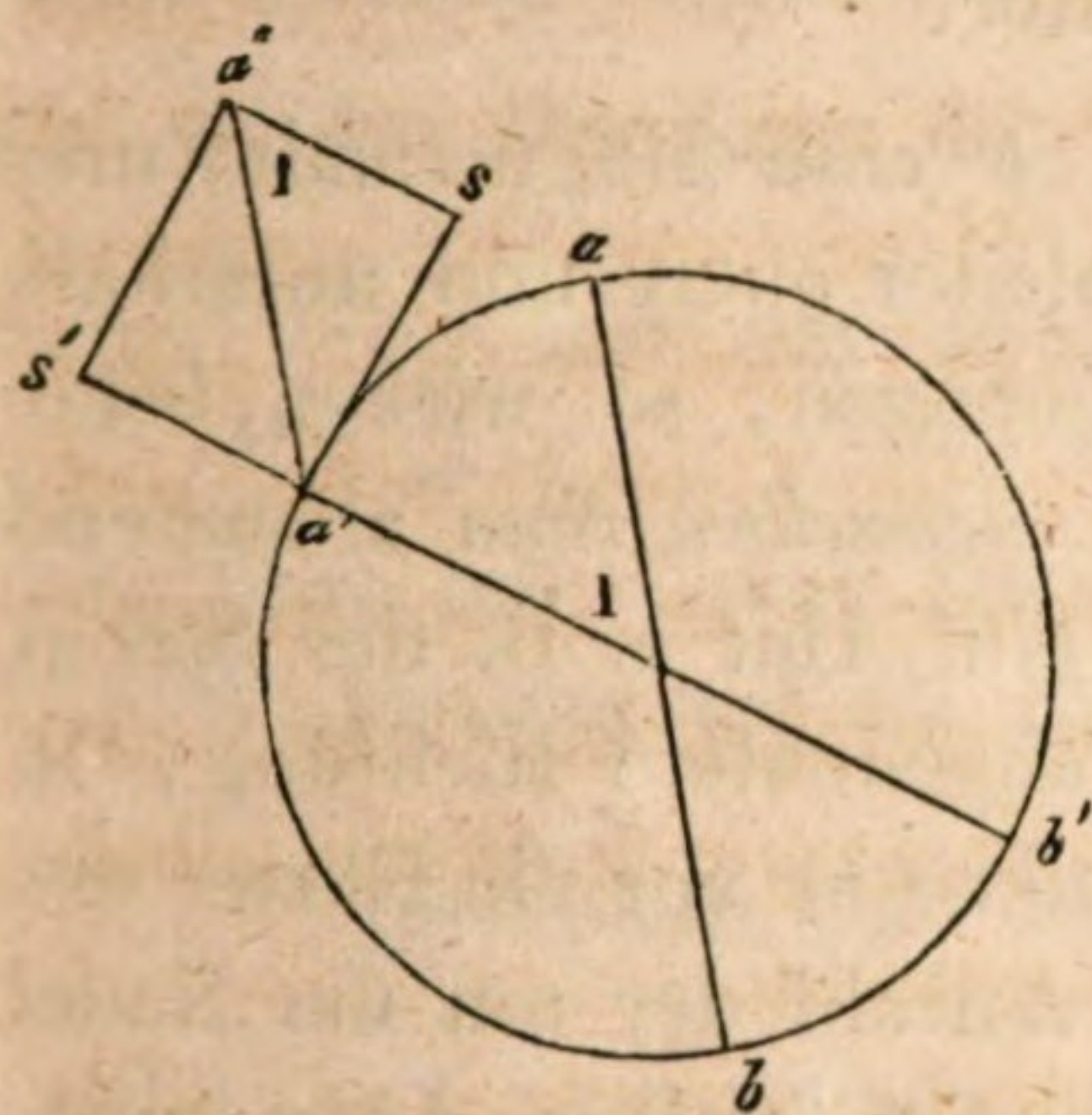


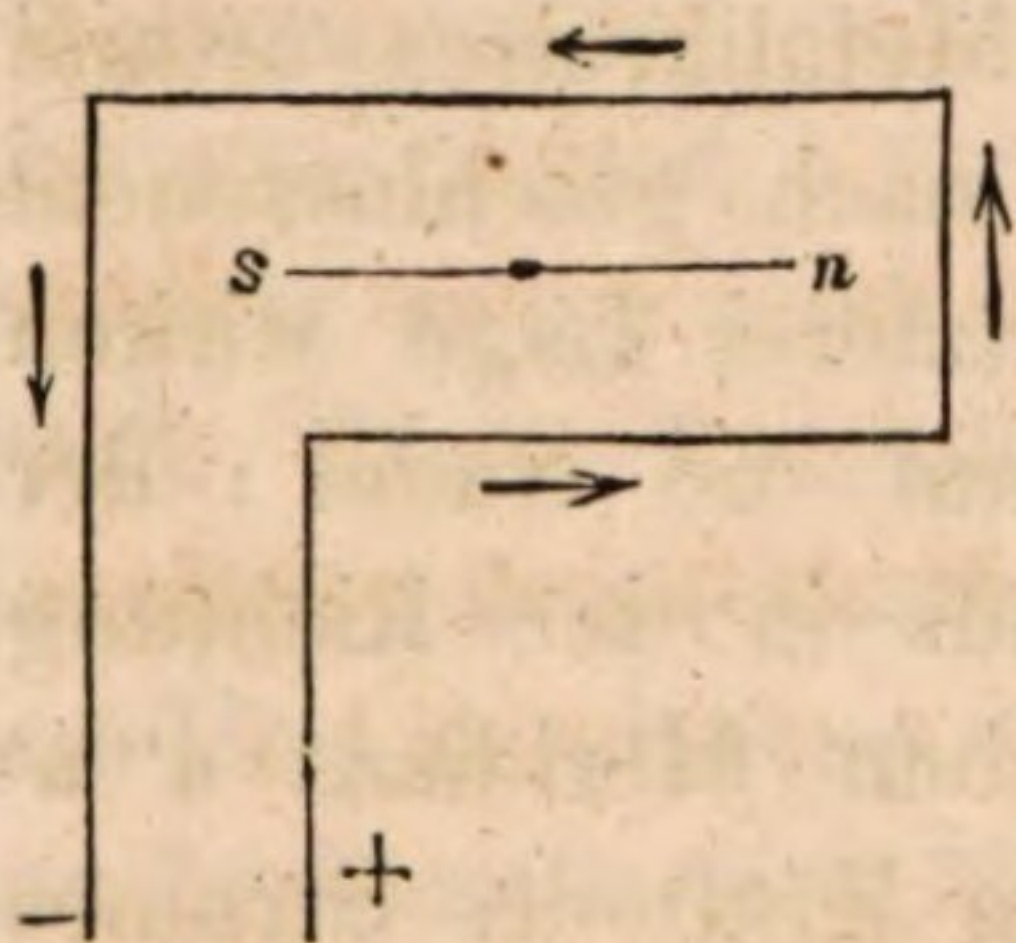
Fig 3. Es sei ab die Richtung der Nadel und des Metallkreises vor und $a'b'$ dieselbe nach geschlossenem Strom. In letzterer Lage wirken zwei Kräfte auf die Nadel: der Erdmagnetismus in der Richtung des magnetischen Meridians $a''a'$ und die ganze Kraft des Stromes senkrecht auf die electromagnetische Wirkungsebene, in welcher

$a's'$ eine Linie ist, in der Richtung sa' . Da keine Ablenkung aus der electromagnetischen Wirkungsebene mehr vorhanden ist, müssen beide Kräfte einander das Gleichgewicht halten. Es muß mithin die Kraft des Stromes gleich sein der Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus die Nadel in den Meridian zurückruft. Diese aber ist immer proportional dem Sinus des Ablenkungswinkels; denn $a''a'$ läßt sich zerlegen in $a's$ und

$a'' s$, wovon nur die erstere zur Wirksamkeit gelangt. Da aber $a' s = a'' a' \cdot \sin l$, so muß auch die ablenkende, nach der Richtung $s a'$ wirkende Kraft des Stromes $q = E \cdot \sin l$ sein, wenn E die horizontale Composante des Erdmagnetismus bedeutet. Für die bequeme Anwendung der Sinusboussole ist außer der gedachten Kreistheilung, welche die jedesmalige Drehung des Stromkreises mißt, noch eine andere für die Nadel angebracht, um ermitteln zu können, welche Ablenkungen der Nadel beim Stand des Kreises im Meridian den Drehungen desselben bei verschiedenen Stromstärken entsprechen. Siehe Multiplicator.

Wir benutzen die Sinusboussole um verschiedene Stromstärken mit einander zu vergleichen. Da jedoch in der Mehrzahl der Fälle nicht besonders starke Ströme in Anwendung kommen, so muß dieselbe immer aus mehreren Windungen bestehen, also eigentlich ein Multiplicator sein. Statt der Sinusboussole kann man sich auch einer Tangentenboussole bedienen, wir halten es aber für überflüssig, die Theorie dieses Instrumentes hier noch auseinanderzusetzen.

Der Multiplicator.



Ist sn Fig. 4 eine Magnetnadel und wird ein Stromleiter ober- und unterhalb derselben hergebogen, so wirken beide Drahttheile in *demselben Sinn* ablenkend auf die Nadel ein. Hat z. B. der Strom die vom Pfeil angedeutete Richtung, so wird sich n senkrecht vor die Ebene des Papiers zu stellen streben. Mit der Anzahl der um die Nadel gelegten Windungen vermehrt sich die Größe ihrer Ablenkung, natürlich nicht genau proportional, weil die einzelnen Windungen sich in immer andern Lagen und Entfernungen von der Nadel befinden. Jedes Instrument, in welchem auf diese Weise die Wirkung des Stromes vergrößert dargestellt wird, heißt *Multiplicator*. Dieser ist mithin für den galvanischen Strom dasselbe, was das Microscop dem Auge für sehr kleine Gegenstände ist.

Je nach der Besonderheit der zu untersuchenden Ströme haben die Multiplicatoren verschiedene Einrichtungen; sie haben entweder nur *einige Windungen eines kurzen, dicken*, oder *sehr viele eines langen, dünnen Drahtes* und in beiden Fällen eine *einfache* oder *astatische* Nadel. In ersterer Beziehung ist vor allen Dingen festzuhalten, *dafs in galvanischen Ketten von grossem Widerstand, Multiplicatoren mit langem dünnem, dagegen in solche von geringem Widerstand solche mit kurzem dickem Draht einzuschalten sind.* Diese Regel ergibt sich aus folgender Ueberlegung. Nehmen wir an, man habe eine Kette, deren grofser Leitungswiderstand gleich sei einem x^{mtr} langen und $\frac{1^{\text{mm}}}{n}$ dicken Draht. Fügt man in dieselbe noch einen eben so langen und dicken Draht, so wird zwar die frühere Stromstärke $S = \frac{k}{x}$ auf die Hälfte, nämlich $S = \frac{k}{2x}$ reducirt, allein es lassen sich mit diesem Drahtstück sehr viele Windungen, wenn z. B. eine Windung $\frac{1}{m}$ Meter beträgt, mx solcher machen. Würde man anstatt des $\frac{1^{\text{mm}}}{n}$ dicken Drahtes einen 1 Meter langen und n^{mm} dicken Draht angewandt haben, so würde allerdings die frühere Stromstärke $S = \frac{k}{x}$ nach $S = \frac{k}{x + \frac{1}{n^2}}$ fast gar keine Abnahme erlitten haben; allein man kann mit diesem Draht auch nur m Windungen machen. Die Wirkungen auf die Nadel werden daher dargestellt :

$$\text{im ersten Fall durch : } \frac{m x \cdot k}{2 x} = \frac{m k}{2}$$

$$\text{im zweiten Fall durch : } \frac{m k}{x + \frac{1}{n^2}} = \frac{m k}{x} *),$$

woraus ersichtlich, dafs die Wirkung im letzten Fall um eben so viel kleiner ist als im ersten, als x an Gröfse die Zahl 2 übertrifft, d. h. vollkommen unbedeutend dagegen. Durch

*) weil $\frac{1}{n^2}$ gegen x verschwindet.

eine ähnliche Betrachtung läßt sich auch der andere Theil der oben angeführten Regel einsehen.

Beide Arten von Multiplicatoren finden in der Physiologie Anwendung; der mit kurzem, dickem Draht — *Thermomultiplicator* — bei der Darstellung von Temperaturdifferenzen verschiedener Körperstellen und der Wärmeentwicklung bei der Muskelaction, der mit langem dünnem Draht bei all denjenigen Versuchen, welche erfordern, daß die einen sehr großen Widerstand bietenden Gewebetheile des thierischen Körpers mit in den Kreis der Kette eingeschaltet werden.

Multiplicator mit langem dünnem Draht und einfacher Nadel.

Wir bedienen uns desselben überall, wo es sich um die Messung nicht allzu starker Ströme handelt. Die Stärken aber der mit diesem Instrument gemessenen Ströme stehen zu den Ablenkungen der Nadel aus der Ebene der Windungen nicht in einem einfachen Verhältniß, wie es z. B. bei der Tangentenboussole der Fall ist, wo sich die Stromstärken wie die Tangenten der Ablenkungswinkel verhalten, sie befolgen vielmehr ein Gesetz, welches für jeden Multiplicator ein anderes ist und daher durch besondere Versuche ermittelt werden muß, und was man das *Graduiren* des Multiplicators nennt. Von den verschiedenen Methoden dies auszuführen, sollen nur folgende erwähnt werden :

1) *Methode der Umwandlung des Multiplicators in eine Sinusboussole.* Jeder Multiplicator, dessen Gewinde drehbar ist und welcher außer einer Theilung zur Ablesung der Gröfse der Drehung noch eine besondere für die Nadel besitzt, kann auf folgende Weise als Sinusboussole benutzt werden. Die Windungen stehen parallel der Nadel, also im Meridian. Hierauf wird ein Strom durchgeleitet und nachdem man sich von der Constanz der Kette überzeugt hat, die Ablenkung der Nadel notirt, sie sei z. B. 20° . Hierauf folgt man durch Drehung der Windungen der Nadel bis sie derselben abermals parallel stehen; die Gröfse des Drehungswinkels sei $27^{\circ},5$. Auf gleiche

Weise sucht man sich für alle übrigen Ablenkungswinkel die entsprechenden Drehungswinkel. Da nun, so oft die aus dem Meridian gelenkte Nadel den gedrehten Windungen parallel steht, die ablenkende Kraft des Stromes der zurückführenden des Erdmagnetismus das Gleichgewicht hält, letztere aber proportional dem Sinus des Ablenkungswinkels aus dem Meridian ist, so müssen sich auch die Stromstärken wie die Sinus der Drehungswinkel verhalten. Der Bequemlichkeit halber stellt man sich die auf die beschriebene Weise gewonnenen Beziehungen zwischen den Ablenkungs- und Drehungswinkeln *graphisch* dar. Auf einer horizontalen Abscissenlinie trägt man sich in gleichen Abständen die Grade der für die Nadel bestimmten Theilung auf und errichtet in den Theilungspunkten Ordinaten von der Gröfse, wie sie den den verschiedenen Ablenkungen entsprechenden Drehungen zukommen. Verbindet man die Endpunkte sämmtlicher Ordinaten, so erhält man eine Curve, welche das Gesetz der Stromstärken ausdrückt, sobald man sich in der Anwendung nur der Sinusse der Ordinaten bedient; sie wird die *Intensitätencurve* des betreffenden Multipliers genannt. Zur Zeichnung derselben indess genügt es schon, für eine Anzahl hinlänglich weit auseinander liegender Ablenkungen die entsprechenden Drehungen zu beobachten, dann näherungsweise die Curve zu entwerfen und sie für mehrere Zwischenwerthe zu prüfen. Auch ist es möglich durch Rechnung, Interpolation, zwischen den beobachteten Werthen andere einzuschieben.

2) *Methode von Wheatstone*. Es sei bei einem in der Kette vorhandenen, grofsen Widerstand die Ablenkung am Multiplier x° ; so ist klar, dafs wenn man jenen durch geeignete Mittel auf $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot \dots \cdot \frac{1}{n}$ reducirt, die Stromstärken 2, 3 . . . n mal so grofs sein müssen, und dafs diesen gewisse Ablenkungen am Multiplier entsprechen werden. Da aber derselbe als Mefsinstrument bei Untersuchungen ohne Unbequemlichkeiten und unnützen Zeitverlust nur dann brauchbar ist, wenn man weifs, welche Stromstärken den von Grad zu Grad fortschreitenden Nadelablenkungen entsprechen; so verfährt

man so, daß man von dem Widerstand, welcher die Ablenkung 1° hervorbringt, nach und nach aus der Kette die Widerstände $a, b, c \dots n$ von der Größe herausnimmt, daß die Ablenkung der Nadel dadurch von Grad zu Grad steigt. Dann sind die entsprechenden Stromstärken, wenn man die, welcher die Ablenkung 1° und der Leitungswiderstand R entspricht, mit $\frac{1}{R}$ bezeichnet :

$$\frac{1}{R} \quad \frac{1}{R-a} \quad \frac{1}{R-(a+b+c)} \quad \dots \quad \frac{1}{R-(a+b \dots + n)},$$

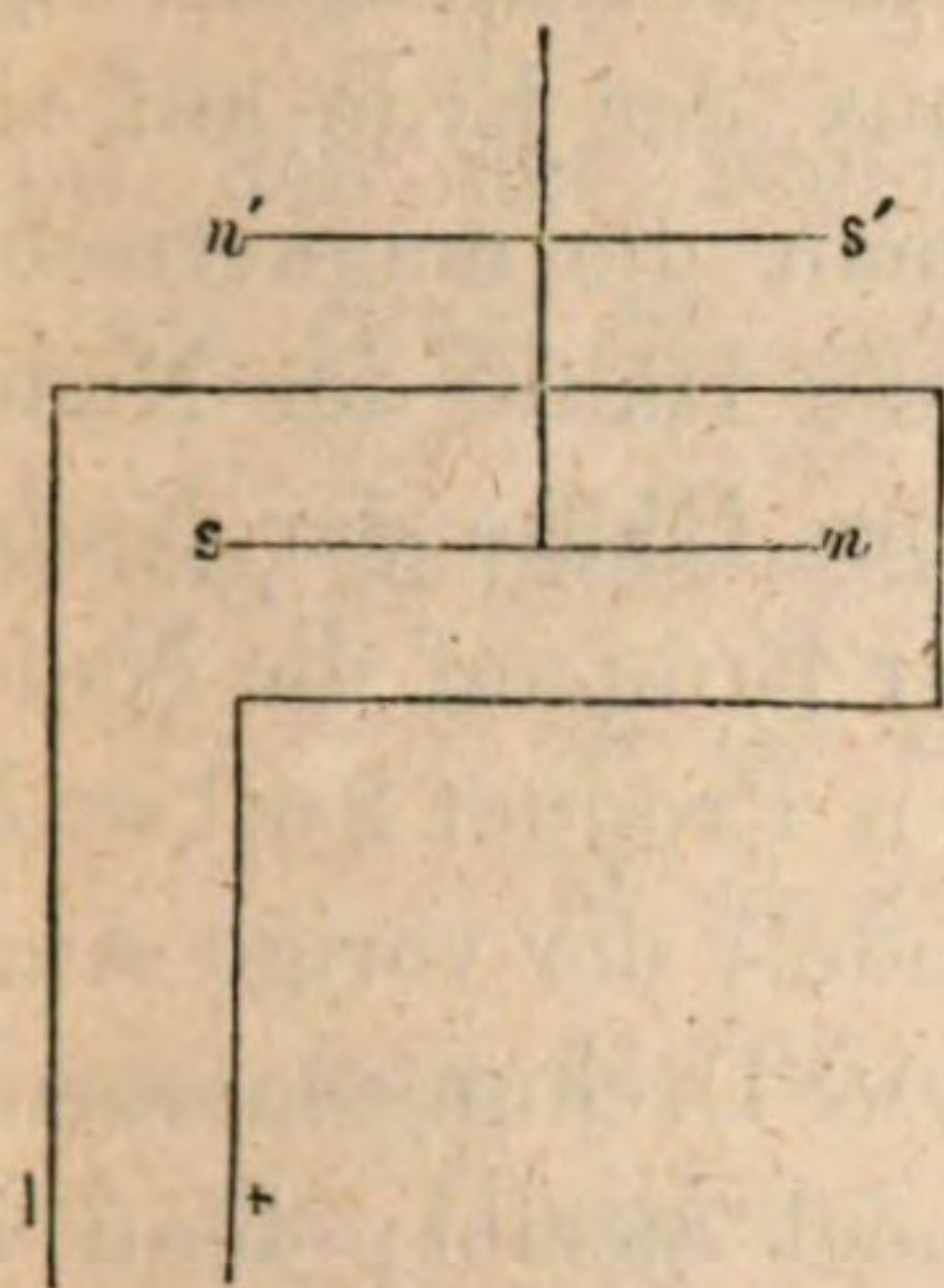
welche sich dann unmittelbar mit einander vergleichen lassen.

Man sieht ein, daß die zuerst angeführte Methode sicherer und leichter auszuführen ist, sie wird daher auch fast ausschließlich angewandt.

Der Multiplicator mit Doppelnadel.

Um sehr schwache Ströme, welche, selbst wenn ihre Wirkung durch ein Multiplicatorgewinde verstärkt wird, keine meßbare Ablenkung der Magnetnadel bewirken, zu entdecken, hat man auf Mittel gesonnen, den Einfluß des Erdmagnetismus zu verkleinern. Eins derselben könnte darin bestehen, die Nadel in einer Ebene schwingen zu lassen, welche *nahezu* senkrecht auf der Inclinationsebene des Ortes stünde, weil auf eine solche Nadel der Erdmagnetismus fast gar keine Wirkung mehr ausübt, wenn es möglich wäre, für eine solche Einrichtung eine hinlänglich feine, keine der ablenkenden Kraft des Stromes besondere Widerstände bietende Aufhängungsart zu beschaffen, abgesehen von manchen anderen Unbequemlichkeiten, welche ein derartiger Apparat bieten würde. Man hat daher zu einem anderen Mittel, der Anwendung der *astatischen Doppelnadel*, gegriffen. Dies sind zwei Nadeln von nahezu gleicher magnetischer Beschaffenheit, durch ein Mittelstück in einem gewissen Abstand so über einander befestigt, daß entgegengesetzte Pole über einander zu liegen kommen. So beschäftigt der Magnetismus der einen Nadel den der andern, und der Erdmagnetismus findet als Angriffspunkte nur noch den Rest des Magnetismus vor, welcher wegen der *nie* herzu-

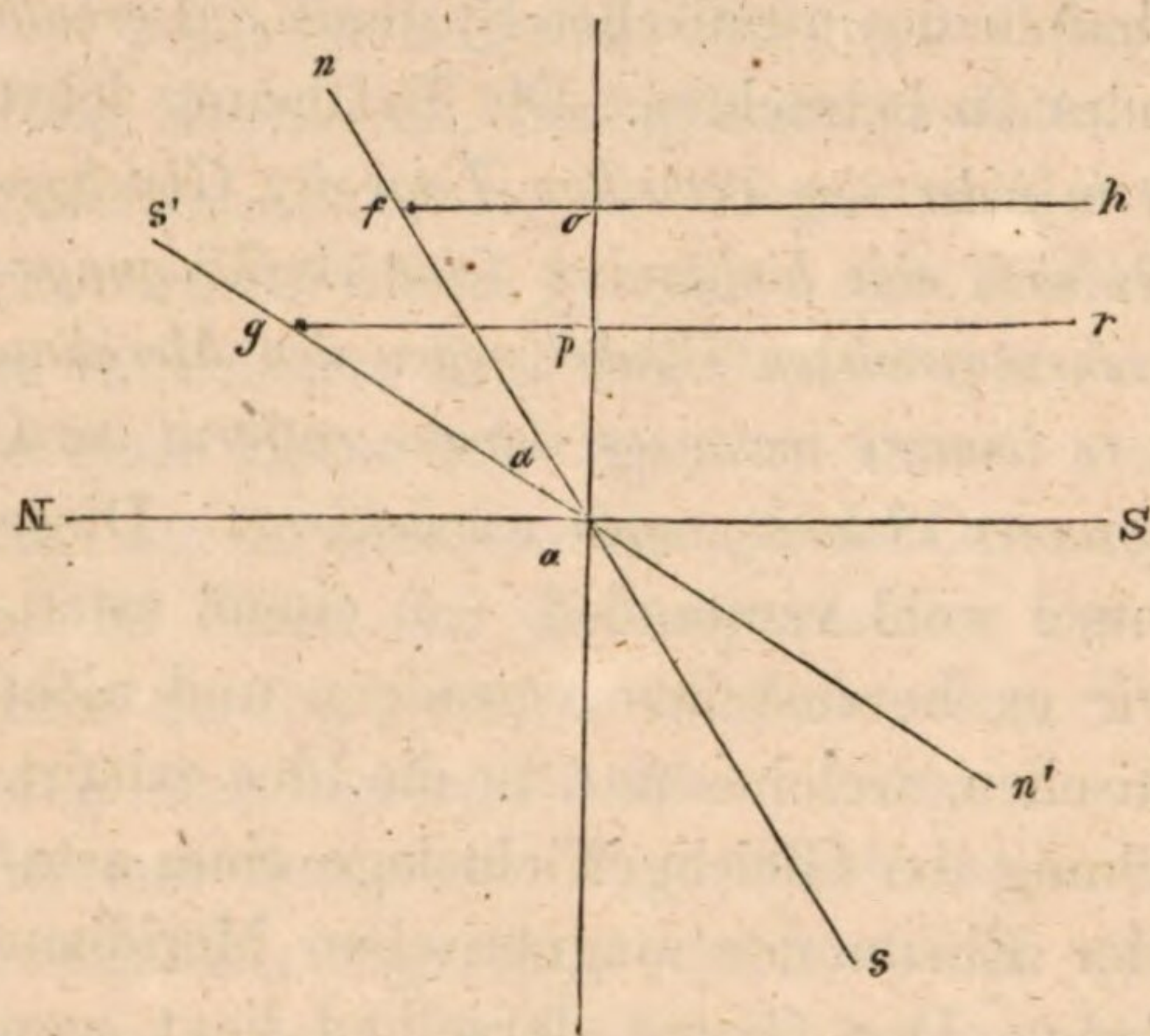
stellenden, absoluten, magnetischen Gleichheit der Nadeln sich ohne Beschäftigung sieht. Das astatische System hat indeß zur Erkennung sehr schwacher, electricischer Ströme noch einen weiteren Vorthail vor der einfachen Nadel voraus. Da nämlich die Lage der Nadeln desselben zu den Windungen des Mul-



tiplicators so wie in Fig. 5 ist, so ergibt sich unter Zuziehung der Regel S. 12, daß auf die untere Nadel die untere und obere Windungshälfte in gleichem Sinn, auf die obere aber überdieß noch die *Differenz* der Wirkungen beider Windungshälften in demselben Sinne drehend einwirkt.

Zu einem genauern Verständniß des Multiplicators mit astatischer Doppelnadel wird es gut sein, vorerst die wesentlichsten Eigenschaften des astatischen Systems *aufserhalb* des Multiplicatorgewindes zu betrachten. Die Erfahrung lehrt von ihm, daß es nicht in jeder ihm ertheilten Lage im Gleichgewicht ist, sondern daß es sich, eine hinlänglich feine Aufhängungsart vorausgesetzt, unter einem gewissen Winkel gegen den Meridian stellt, in welche Stellung es immer, wenn es daraus entfernt wird, unter einer Anzahl langsamer Schwingungen zurückkehrt. Diese Bemerkung gilt aber nur, wohl verstanden, von einem astatischen System, wie wir es herzustellen vermögen und nicht von einem *absolut* astatischen, welches nur für die Idee existirt. Man nennt die Abweichung der Gleichgewichtslage eines astatischen Systems aus der Ebene des magnetischen Meridians seine *freiwillige Ablenkung*. Der Grund derselben liegt zum größten Theil in dem *nie vollkommenen* Parallelismus der Nadeln; ihre Gröfse wird mitbedingt durch den Unterschied der Gröfse der magnetischen Kräfte beider Nadeln, d. h. durch deren *Astasie*. Dies einzusehen, bedürfen wir folgender Vorbemerkung. Für eine jede Magnetnadel kann man sich statt des auf ihrer einen Hälfte überall verbreiteten freien Nordmagnetismus und des auf ihrer andern Hälfte überall verbreiteten freien Südmagnetismus auf jeder Hälfte eine gewisse

Menge Magnetismus m an irgend einem beliebigen, von dem Drehpunkt um die Länge l entfernten Punkt concentrirt denken, welche, vom Erdmagnetismus afficirt, dieselbe Bewegung der Nadel zur Folge haben würde, welche in der That stattfindet. Denken wir uns, eine solche Magnetnadel befinde sich in einer zum magnetischen Meridian senkrechten Richtung, so wirken der Nord- und Südmagnetismus der Erde auf sie in demselben Sinn drehend ein. Nennt man die magnetische Erdkraft P , so wird die Wirkung auf die Hälfte der Nadel durch $P m l$ ausgedrückt, für die andere Hälfte der Nadel ist sie eben so groß und das ganze von der Erde auf die Nadel ausgeübte Drehungsmoment ist $P 2 m l$. Das Product $2 m l = M$ nennt man das *magnetische Moment* der Nadel; der vorige Ausdruck wird daher $P M$. Dies ist das *größte* Drehungsmoment, welches der Erdmagnetismus auf die Nadel ausübt; denn in jeder andern Lage der Nadel zum Meridian, wie z. B. in der



Nadel $s' n'$, Fig. 6, greift die Kraft P , welche in der mit dem magnetischen Meridian $N S$ parallelen Richtung $g r$ wirkt, nicht mehr mit dem Hebelarm $l = a g$, wie in dem Fall, wenn $s' n'$ senkrecht auf dem Meridian steht, sondern mit dem kürzern $a p = \lambda a n$, und

es wird jetzt das Drehungsmoment um soviel kleiner sein als $P M$, als λ kleiner ist als l . Dies berechnet sich daher nach der Proportion

$$l : \lambda = P M : x$$

$$x = P M \frac{\lambda}{l} = P M \sin s' a N$$

Man ersieht hieraus, daß das von der Erde auf jede Magnetnadel ausgeübte Drehungsmoment proportional ist dem Sinus

des Ablenkungswinkels, und in seinem Ausdruck als Constante das magnetische Moment der Nadel hat.

Stellen nun, Fig. 6, ns und $s'n'$ die unter dem Winkel α mit einander verbundenen Nadeln eines astatischen Systems dar, so ist das auf $s'n'$ ausgeübte Drehungsmoment, wenn ihr magnetisches Moment M ist $= P M \frac{ap}{l} = P M \sin s' a N$ und das der Nadel ns , wenn ihr magnetisches Moment $= M'$, $P M' \frac{ao}{l} = P M' \sin n a N$. Soll Gleichgewicht bestehen, so muß sein :

$$P M \sin s' a N = P M' \sin n a N \text{ oder}$$

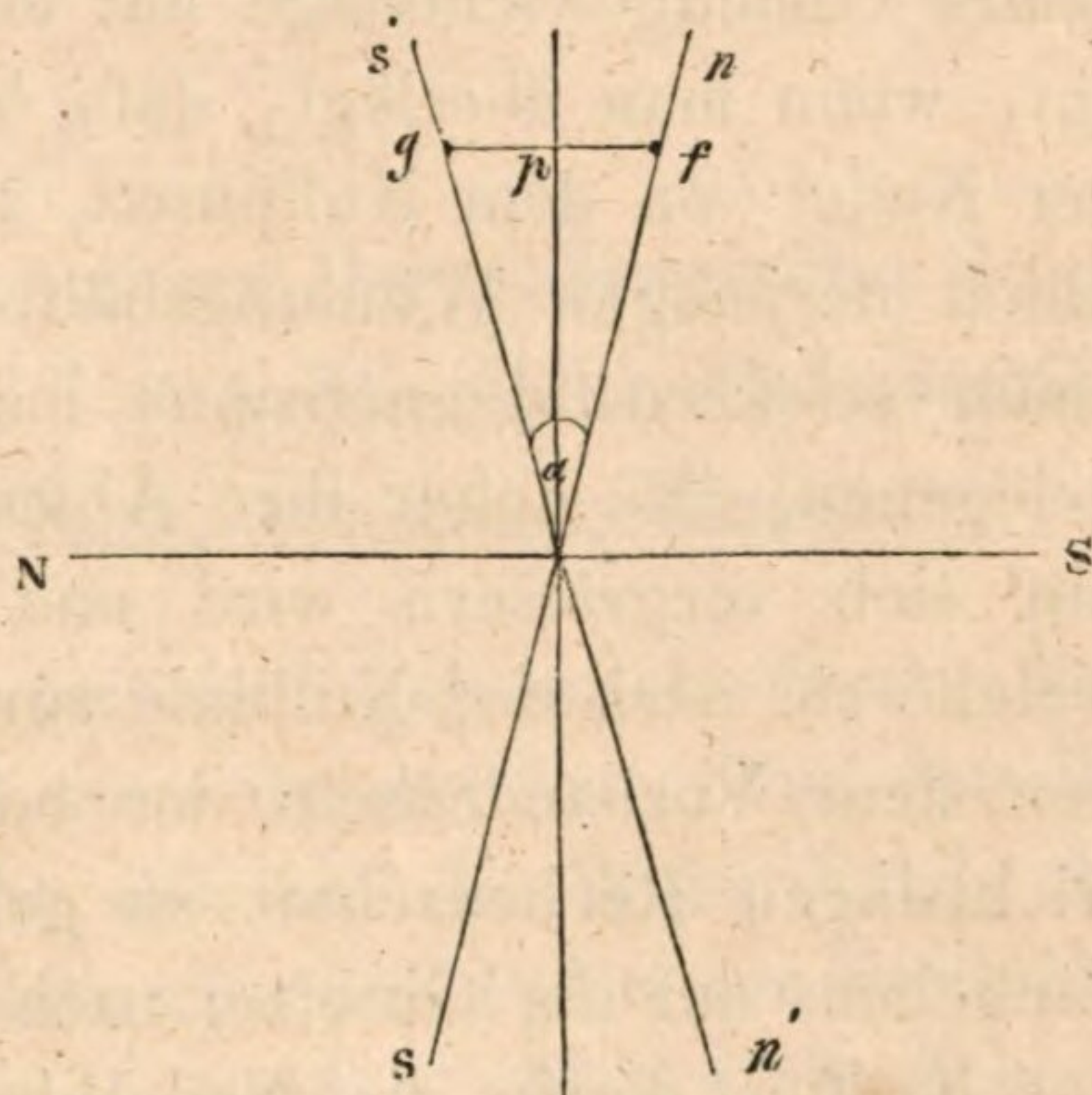
$$M \sin s' a N = M' \sin n a N$$

Nennt man den Winkel $s' a N = \beta$, so ist $n a N = \beta + \alpha$ und die Gleichung $M \sin \beta = M' \sin (\beta + \alpha)$ läßt ersehen, wie die Gleichgewichtslage des Systems, d. i. die Gröfse des Winkels β , von den magnetischen Momenten M und M' der beiden Nadeln, so wie von dem Winkel α , den sie mit einander bilden, abhängt. Ist $M = M'$ d. h. wären beide Nadeln absolut gleich magnetisch, so geht die Gleichgewichtsbedingung über in

$\sin \beta = \sin (\beta + \alpha)$. Dies tritt dann ein, wenn $\beta = 90^\circ - \frac{1}{2} \alpha$ und $\beta + \alpha = 90^\circ + \frac{1}{2} \alpha$ ist, d. h. wenn, wie in Fig. 7, die den Winkel α halbirende Linie senkrecht auf dem Meridian steht.

Um sich von der Gröfse der Astasie eines Nadelsystems Kenntniß zu verschaffen, dient gewöhnlich die Beobachtung seiner *Schwingungsdauer*. Die Schwingungszahl einer gegebenen Magnetnadel hängt

ab : von der Gröfse des Erdmagnetismus am Beobachtungsort und dem magnetischen Moment der Nadel; es wird also eine Magnetnadel innerhalb einer gegebenen Zeit um so mehr



Schwingungen machen, einen je stärkern Magnetismus sie trägt, daher das astatische System um so *weniger, je geringer der Unterschied der Magnetismen seiner Nadeln ist, d. h. je gröfser seine Astasie*. Natürlich kann die blofse Beobachtung der Schwingungsdauer keinen Vergleich zwischen *verschiedenen* astatischen Systemen gestatten, sondern nur über den jeweiligen Grad der Astasie *eines und desselben Systems* Auskunft geben.

Wir setzen jetzt eine hinlänglich astatische Nadel voraus und hängen sie in den Multiplicator. Bleibt die Gröfse der freiwilligen Ablenkung dieselbe, so stellt man leicht die drehbaren Windungen des Multiplicators parallel mit der Nadel, d. h. diese auf die Nulllinie der Theilung ein. In den *allermeisten* Fällen aber tritt eine Ablenkung durch die *Drahtmassen* des Multiplicators auf, indem die Nadel in Folge des *Eisengehaltes* des Drahtes innerhalb des Gewindes einen andern Winkel mit dem Meridian macht, als aufserhalb. Im Allgemeinen nun giebt es für eine solche Nadel *drei Gleichgewichtslagen* : eine *labile* auf der Mittellinie und zwei *stabile* in der Nähe der beiden Diagonalen des Gewindes, welche letzteren um so weiter von der Nulllinie entfernt liegen, je astatischer das System ist. Die Nothwendigkeit des Bestehens einer *labilen* Gleichgewichtslage auf der Nulllinie sieht man sofort ein, wenn man überlegt, dafs bei der geringsten Ablenkung der Nadel von dem Nullpunkt, sie in sämtlichen Eisenmolekülen derjenigen Windungshälfte, welcher sie genähert ist, einen stärkern Magnetismus inducirt, als in der ihr ferner gelegenen, dafs daher ihre Ablenkung auch nach dieser Seite hin sich vergröfsern wird und keine Kraft vorhanden ist, welche sie nach der Nulllinie zurückführt. Um dagegen sich von dem Vorhandensein der bezeichneten *stabilen* Gleichgewichtslagen Rechenschaft zu geben, bedarf es eines genauen Eingehens auf die Gesetze, nach welchen die Wirkungen beider Kräfte, denen die Nadel im Multiplicator ausgesetzt ist, nämlich dem Erdmagnetismus und dem Magnetismus in den Eisenmolekülen des Drahtes, dessen Vertheilung aber bei jeder Stellung der Nadel zum Gewinde eine andere ist, erfol-

gen. Der Anfänger mag, da ein genaueres Eingehen auf diesen Punkt nicht mit Kürze geschehen kann, die gemachte Angabe als das Resultat einer gründlichen Betrachtung hinnehmen, aber nicht unterlassen, den betreffenden Abschnitt bei du Bois-Reymond zu studiren, das Beste, was die physikalische Literatur über diesen Gegenstand aufzuweisen hat *).

Die Mittel, deren man sich bedient hat, um dennoch solche Multiplicatoren brauchbar zu machen, sind verschiedenartig. Gewöhnlich bedient man sich jetzt eines Verfahrens, welches den Namen der *Compensation* führt. Es gründet sich auf die Einsicht, daß die genannten Gleichgewichtslagen des astatischen Systems dadurch zu Stande kommen, daß die auf dasselbe innerhalb des Multiplicatorgewindes wirkenden Kräfte in eine besondere Collision gerathen und besteht darin, daß man mittelst eines Magneten — *Berichtigungsstab oder Compensationsmagnet* genannt — dem astatischen System so viel von seiner Kraft raubt, daß die anziehenden Kräfte der Drahtmassen der Kraft des Erdmagnetismus gegenüber eben *unwirksam* werden. Jeder Multiplicator verträgt daher nur ein gewisses Maß der Astasie, was man mit Nobili die *Leistungsfähigkeit* desselben nennt. Das Nähere hierüber sehe man am angeführten Orte.

§. 4.

Von den Erscheinungen, wenn der galvanische Strom Flüssigkeiten durchsetzt — galvanische Polarisation, Vermeidung derselben, constante Ketten.

Kein, auch nicht der schwächste galvanische Strom, kann eine Strecke eines flüssigen Leiters durchziehen, ohne daß dieser zersetzt wird. Dies gibt sich auf die Weise kund, daß an den in die Flüssigkeit eintauchenden Polen der Kette Zersetzungsproducte ausgeschieden werden. Man stellt sich den

*) Untersuchungen über thierische Electricität. Bd. I, S. 175 ff.

Hergang dieser Zersetzung nach einer zuerst von Grotthufs gegebenen Theorie folgendermassen vor. Man denkt sich ein jedes Flüssigkeitsmolekül aus zwei Theilen, einem electronegativen und einem electropositiven zusammengesetzt. Ist nun,

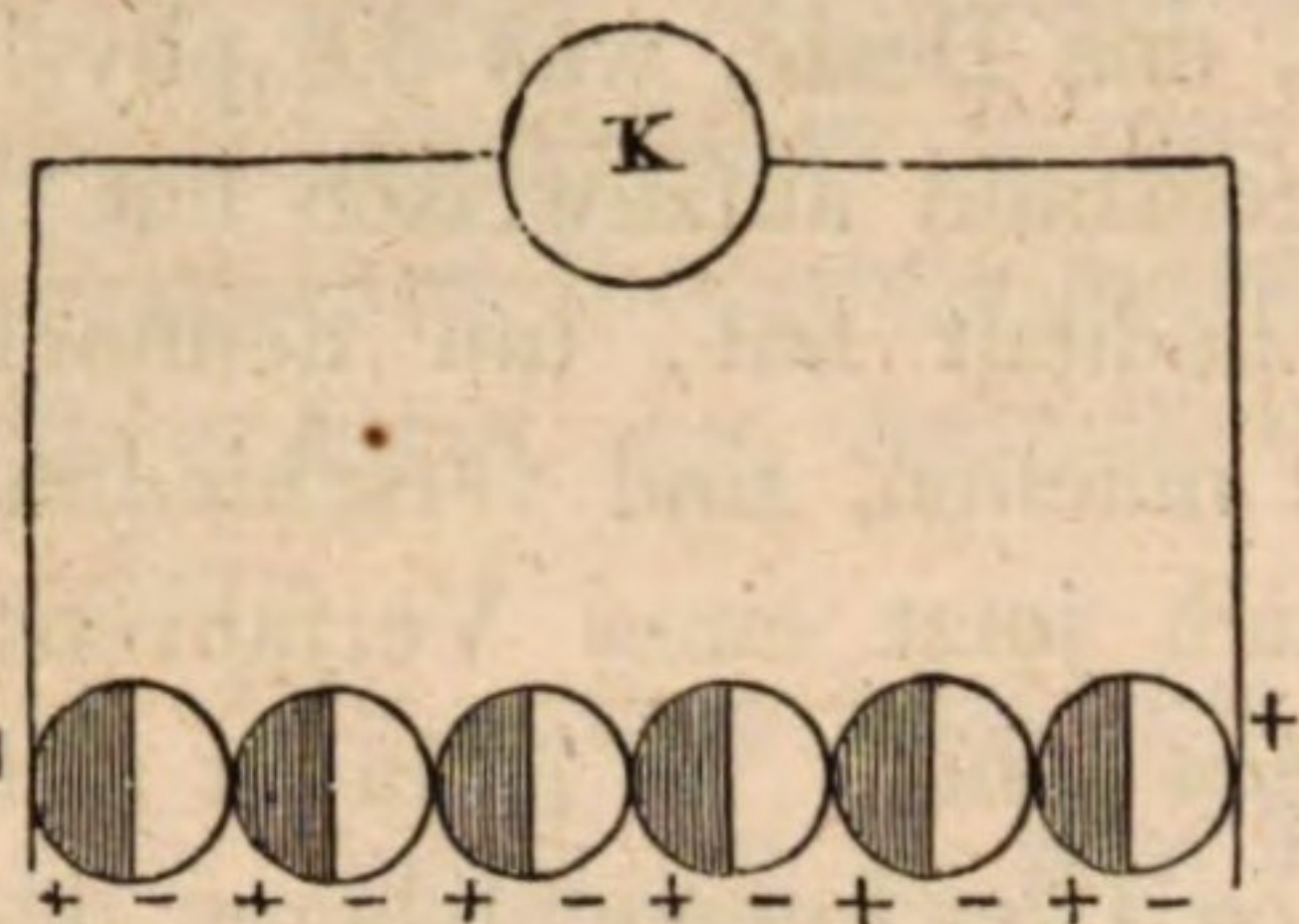


Fig. 8, die positive Electricität in dem positiven Pole bis an dessen Ende vorgedrungen, so werden die denselben unmittelbar berührenden Flüssigkeitstheilchen in eine solche Stellung gebracht, daß ihre negativen Bestandtheile

sich dem Pol als die entgegengesetzte Electricität tragend, zukehren, während sich ihre positiven nach der entgegengesetzten Seite wenden, die nächsten Flüssigkeitsmoleküle zu gleicher Stellung zwingen und so fort bis an das andere Ende der Flüssigkeit, wo die positiven Bestandtheile der dem negativen Pole zunächst anliegenden Flüssigkeitstheilchen von dessen Electricität angezogen werden und sich hier gleich den negativen Bestandtheilen an dem positiven Pole ausscheiden, während sich auf der ganzen Strecke zwischen den beiden Polen die an einander grenzenden negativen und positiven Bestandtheile zu Flüssigkeitstheilchen vereinigen. Dieser Proceß der Zersetzung und Wiedervereinigung findet so lange statt, als die Kette geschlossen ist, was an der fortdauernden Ausscheidung der Zersetzungsproducte an den Polen erkannt wird. Daher ist es dann auch zur Vervollständigung der eben auseinandergesetzten Vorstellung nöthig, sich zu denken, daß *fortwährend* die einzelnen Flüssigkeitstheilchen während der geschlossenen Kette in Bewegung sind und daß das gezeichnete Schema nur eine für einen Augenblick bestehende Anordnung der Theilchen darstellt.

Die beschriebenen Vorgänge belegt man mit dem Namen der *Electrolyse* und nennt mit Rücksicht auf diese Bezeichnung die metallischen Pole *Electroden*. Je nach der chemischen Natur dieser und der an denselben ausgeschiedenen Zersetzungsproducte treten nun aber in einem solchen Stromkreis folgende Erscheinungen auf: a) Sind die Electroden der

Art, daß sie keine chemische Verbindung mit den an ihnen ausgeschiedenen Stoffen eingehen, so adhären diese einfach an jenen, häufen sie sich in größerer Menge an, so entweichen sie zum Theil. Da aber eine beständige Wiedererzeugung durch den fortdauernden Strom statt findet, so sind die Electroden fortwährend von einer Schicht der Zersetzungsproducte umhüllt. Die Folge davon muß, da an demselben Metall an den beiden Electroden verschiedenartige Stoffe sich vorfinden, die Entwicklung eines Stromes — *Polarisationsstrom* — sein. Dieser nun hat stets die umgekehrte Richtung von dem, durch dessen Wirkung er zu Stande kommt. So lange die Kette geschlossen ist, wird er sich daher nur dadurch bethätigen können, *daß er den ursprünglichen Strom schwächt*. Sobald aber das den Strom liefernde Element ausgeschlossen ist und die polarisirten Electroden durch einen Bogen zum Kreis geschlossen werden, wird er, da die Zersetzungsproducte noch eine Zeit lang an den Electroden haften, mit Hilfe eines Multipliers rein zur Anschauung gebracht. Dies Verfahren ist besonders deshalb zu empfehlen, weil man sich dadurch von der Existenz der Polarisation auch für die Fälle überzeugt, in denen, zu Folge sehr schwacher Ströme, die Zersetzungsproducte dem Auge nicht sichtbar sind. Erläutern wir an einem Beispiel im Einzelnen die Entstehung und Richtung des Polarisationsstromes. Wir wählen dazu den Fall, daß Platinelectroden in reines Wasser tauchen. An der positiven Electrode scheidet sich der negative Sauerstoff, an der negativen der positive Wasserstoff aus *). Platin wird in Berührung mit Sauerstoff positiv, die aus dieser Contactstelle entspringende positive Electricität fließt daher in dem mit + (Fig. 8) bezeichneten Draht in der Richtung gegen K ab; Wasserstoff wird in Berührung mit Platin positiv und es fließt daher die positive Electricität dieser Berührungsstelle durch die Flüssigkeit mithin in demselben Sinn wie die vorige, beide aber, wie man sieht, in einer

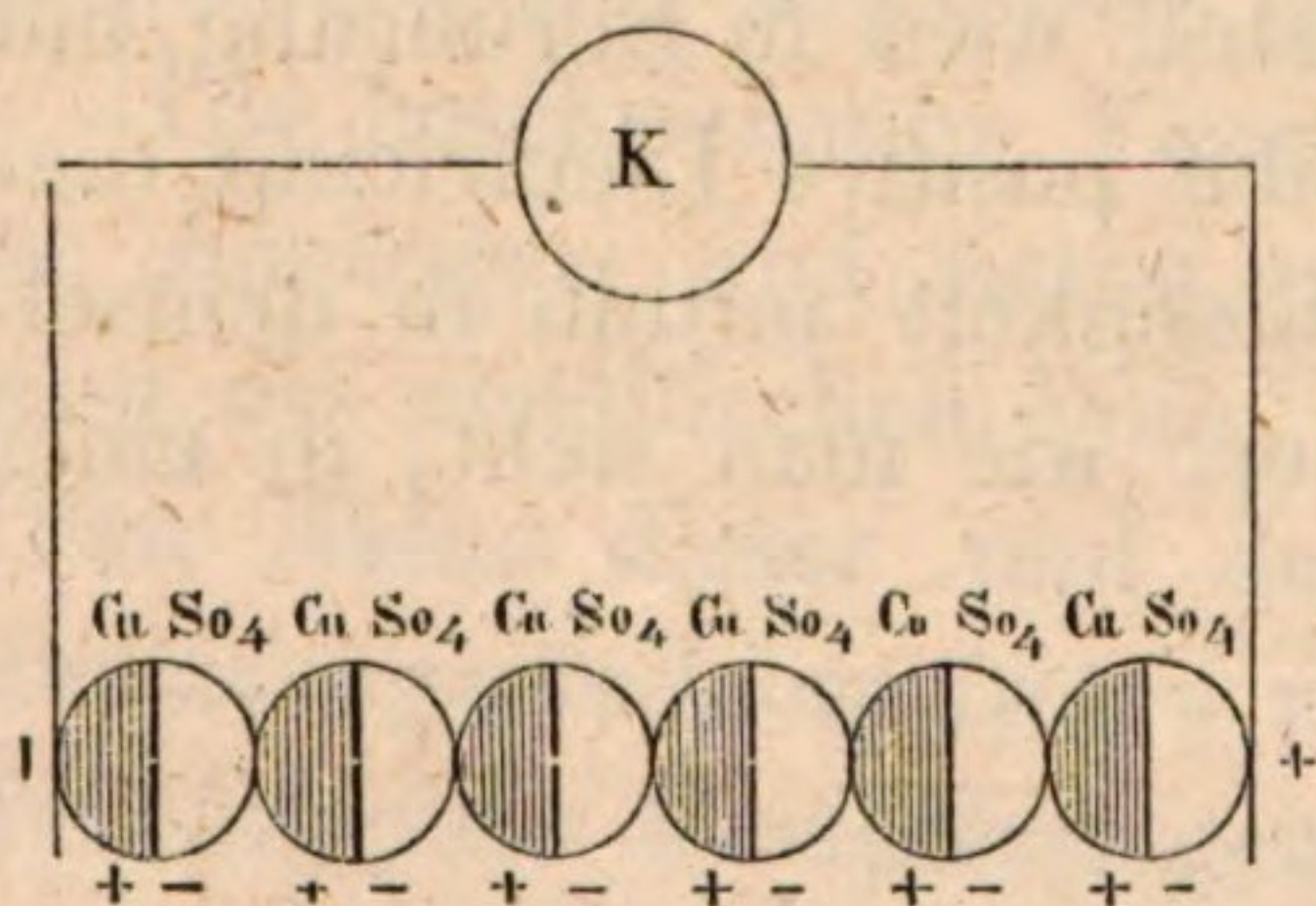
*) Siehe oben S. 4.

der Richtung des ursprünglichen Stromes entgegengesetzten Richtung ab. In manchen Fällen sind die an den Electroden ausgeschiedenen Zersetzungsproducte die Folge *secundärer* Zersetzungen. Tauchen z. B. Platinelectroden in eine Kochsalzlösung, so wird an der positiven Chlor, an der negativen Wasserstoff ausgeschieden, letzterer aber deshalb, weil das an der negativen Electrode freiwerdende Natrium sich augenblicklich auf Kosten des Wassers unter Entbindung von Wasserstoff oxydirt.

Die Gröfse der Polarisation ist aufser von der Natur der in Berührung befindlichen Körper noch abhängig von der *Stromstärke* und der *Temperatur*: von der *Stromstärke* so, dafs sie mit der Zunahme derselben zwar ebenfalls wächst, aber in einem geringern Grade und zwar dies um so mehr, eine je *größere absolute* Stärke die Ströme haben; von der *Temperatur* dergestalt, dafs sie nahezu mit *Erhöhung derselben proportional abnimmt*.

b) Sind dagegen Flüssigkeit und Electroden so gewählt, dafs an letztern sich keine heterogenen Stoffe abscheiden, so fallen damit die Bedingungen der Polarisation fort. Doch scheint in allen bis jetzt bekannten Fällen eine *vollständige* Vermeidung der Polarisation nicht möglich zu sein. Die gewöhnlichste Art, dieselbe fortzuschaffen, besteht darin, dafs man die metallischen Electroden in eine Auflösung eines Salzes desselben Metalles tauchen läfst. Alsdann scheidet sich an der negativen Electrode das Metall der Salzlösung, an der positiven die Säure aus, welche daselbst mit einem Theil der Electrode neues Salz bildet. Sonach sind beide Electroden immer rein metallisch; die negative, weil sich an ihr fortwährend neues Metall niederschlägt, die positive, weil an ihr

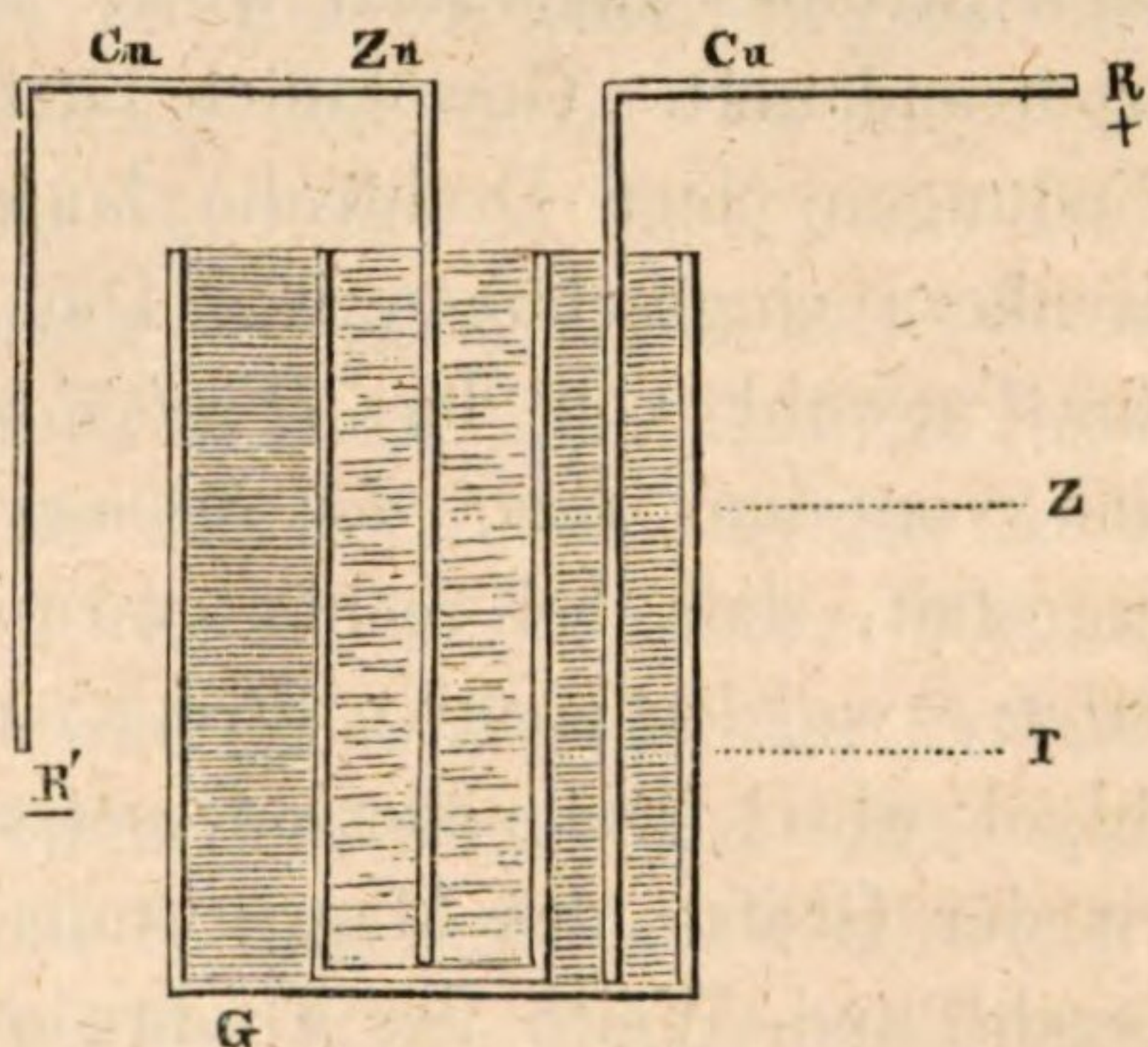
immer neue Metalltheilchen durch Lösung anderer blofsgelegt werden. Die beistehende Zeichnung, Fig. 9, stellt den Vorgang bei kupfernen Electroden in Kupfervitriol dar, wobei nur zu bemerken ist, dafs vielen Erfahrungen



zu Folge, nicht aller der Verbindung SO_4 zukommender Sauerstoff an der positiven Electrode verwendet wird, und dafs mithin eine gewisse Polarisation auch hier bestehen bleibt.

Die Betrachtungen über die Art und Weise, die Polarisation in einer im Kreis der Kette befindlichen Zersetzungs- zelle zu vermeiden, haben zu der wichtigen Erfindung der sogenannten *constanten Ketten* Veranlassung gegeben. Wie man sich nämlich aus §. 2 erinnert, ist ein galvanischer Strom ohne Flüssigkeit gar nicht herstellbar. Man sieht aber auch jetzt ein, dafs wenn die zur Bildung eines Strom liefernden Elementes benutzten Stoffe Polarisation zu Stande kommen lassen, gar bald eine Schwächung und Unbeständigkeit des Stromes eintreten wird. Einer jeden constanten Kette liegt daher das Princip zu Grunde, auf irgend eine Weise die Polarisation zu vermeiden. Von den gangbarsten, der Daniell'schen, Grove'schen und Bunsen'schen wählen wir die erstere zu einer genauern Beschreibung. Sie besteht,

Fig. 10, aus einem Glasgefäße G mit Kupfervitriollösung, in dieser steht eine mit einer Lösung von schwefelsaurem Zink gefüllte, poröse Thonzelle T, in letztere Lösung taucht das Zink einer Zinkkupfercombination und in die Kupfervitriollösung eine Kupferplatte. Nicht geschlossen ist R ihr positi-



ver, R' ihr negativer Pol. Das Resultat sämtlicher in dieser Vorrichtung vorkommender electromotorischen Berührungsstellen ist, wie man aus mancherlei Beobachtungen weiß, dafs die positive Electricität ihren Weg vom Zink durch die Zinkvitriol-, die Kupfervitriollösung zu dem einzelnen Kupferstreifen, dem Schließungsbogen zum Zink zurück nimmt. *Innerhalb* des Elementes ist also das Zink der positive, der in der Kupfervitriollösung befindliche Kupferstreifen der negative Pol. An

letzterem scheidet sich daher metallisches Kupfer aus, die Moleküle der Kupfervitriollösung werden geordnet wie in Fig. 9, ebenso auch die der Zinkvitriollösung, an der Grenze beider bildet sich aus der Säure des einen und der Basis des andern Zinkvitriol und schließlicly löst die am Zink ausgeschiedene Schwefelsäure einen Theil desselben unter Bildung von löslichem schwefelsaurem Zink auf. Von der Daniellschen Kette hat Buff eine dem Physiologen zu empfehlende Abänderung gegeben *).

§. 5.

Lehre von der Induction — Inductionsapparate.

1) *Erregung des Magnetismus in weichem Eisen durch den galvanischen Strom.* Jedes Stück weichen Eisens wird, wenn es unter passenden Bedingungen dem Einfluß eines galvanischen Stromes ausgesetzt wird, so lange magnetisch, als der Strom andauert. Gewöhnlich läßt man den Strom durch die Windungen einer Drahtrolle laufen, in deren Höhlung ein Eisenkern eingeschoben ist. Die *Lage der Pole* des letztern hängt sowohl von der *Windungsrichtung* der Drahtrolle, als auch von dem *Lauf des Stromes* in derselben ab und zwar dergestalt, daß bei rechts gewundener Spirale das Ende des Stabes, wo der positive Strom eintritt, Nordpol, das andere Südpol wird. Die nähern Gesetze, betreffend die Abhängigkeit der Gröfse des Magnetismus von der Stromstärke, der Anzahl und Weite der Drahtwindungen, kennen zu lernen, hat für uns keinen unmittelbaren Werth.

2) *Wirkungen des Stromes auf benachbarte Drahtkreise. Voltainduction.* Die hierher gehörigen Erscheinungen werden am vollkommensten beobachtet, wenn der in sich geschlossene Drahtkreis, welcher der Wirkung eines Stromes ausgesetzt

*) Annalen der Chemie und Pharmacie, von Liebig und Wöhler, Bd. LXXXV, S. 4.

werden soll, und welchen man den *secundären* Kreis nennt, aus einem sehr langen, überall wohl isolirten Draht besteht, der auf eine Rolle aufgewunden ist, und wenn gleichzeitig auch der Schließungsbogen der galvanischen Kette eine ähnliche Drahtrolle darstellt. Beide Rollen werden einander so gegenübergestellt, daß ihre Axen in einander fallen. Schaltet man in den secundären Kreis ein galvanometrisches Meßwerkzeug, so zeigt dies in demselben so oft einen Strom an, als der Strom der nachbarlichen Rolle, der *inducirende Kreis*, eine Aenderung erleidet. Den Vorgang der Stromerzeugung im secundären Kreis nennt man *Volta-Induction* oder *electrodynamische Vertheilung*. Ueber die *Richtung* der inducirten Ströme sind folgende Gesetze zu merken. Beim *Schluss* des inducirenden Stromes, oder allgemeiner, bei jeder *positiven* Schwankung desselben, so wie bei jeder gegenseitigen *Näherung* beider Kreise hat der inducirte Strom die *entgegengesetzte* Richtung des erstern; beim Oeffnen dagegen, allgemeiner bei jeder *negativen* Schwankung, so wie bei jeder gegenseitigen *Entfernung* hat er *gleiche* Richtung mit jenem. So lange aber der Strom auf *constanter Höhe* verweilt und dabei beide Kreise in einer bestimmten Entfernung *verbleiben*, findet keine Stromentwicklung im secundären Kreis statt. Eine ähnliche Induction beobachtet man auch an der Rolle, welche den Schließungsbogen der Kette bildet, indem jede einzelne Windung auf die übrigen inducirend wirkt; aber nur der der Oeffnung der Kette entsprechende Inductionsstrom läßt sich leicht nachweisen, indem man durch Einschalten einer Drahtrolle in einen Stromkreis beim *Oeffnen* der Kette Funken und starke Erschütterungen des eingeschalteten, menschlichen Körpers hervorbringen kann, von welchen beiden ohne Zuhilfenahme der Drahtrolle wenig oder gar Nichts beobachtet wird. Man nennt diesen in der primären Kette selbst mittelst einer Drahtrolle beim Oeffnen erzeugten Strom den *Extrastrom* oder auch wohl *Endgegenstrom*. Für die Physiologie ist es bezüglich der Volta-Induction noch von Interesse, zu wissen, daß beide, der Schließung und Oeffnung der inducirenden Kette entsprechende, Inductionsströme nicht von *gleicher* Beschaffenheit sind.

Zwar gleichen sich in beiden gleiche *Electricitätsmengen* ab und ist demgemäfs ihre galvanometrische und electrolytische Wirkung gleich, aber diese Abgleichung geschieht für den Oeffnungsstrom in *kürzerer* Zeit.

Bisher wurde vorausgesetzt, dafs der secundäre Kreis geschlossen sei. Aber auch in dem Fall, dafs er offen ist, findet in ihm Electricitätsentwicklung statt. An dem einen Ende findet sich freie positive, am andern freie negative Electricität vor, welche beim Schliessen und Oeffnen des inducierenden Kreises ihr Zeichen wechseln. Die Anordnung jener ist stets so, dafs wenn der Kreis geschlossen wäre, ein Strom nach den vorher angegebenen Regeln zu Stande kommen würde. Siehe unipolare Inductions-zuckungen.

3) *Wirkung von Magneten auf in sich geschlossene oder offene Drahtkreise — Magnetoinduction.* Um die hierher gehörigen und sogleich anzuführenden Erscheinungen leicht auffassen und dem Gedächtnifs einprägen zu können, bringen wir, wie es üblich ist, dieselben in Zusammenhang mit der Theorie des Magnetismus, wie sie Ampère gegeben. Dieser nämlich räth, sich alle Moleküle eines Magneten von parallelen Strömen umkreist zu denken, und zwar so, dafs wenn man den Querschnitt eines Südpols dem Auge zuwendet, hier sich die Ströme von links nach rechts, wie der Zeiger einer Uhr bewegen, während am Nordpol, diesen ebenso betrachtet, sie die entgegengesetzte Richtung verfolgen.

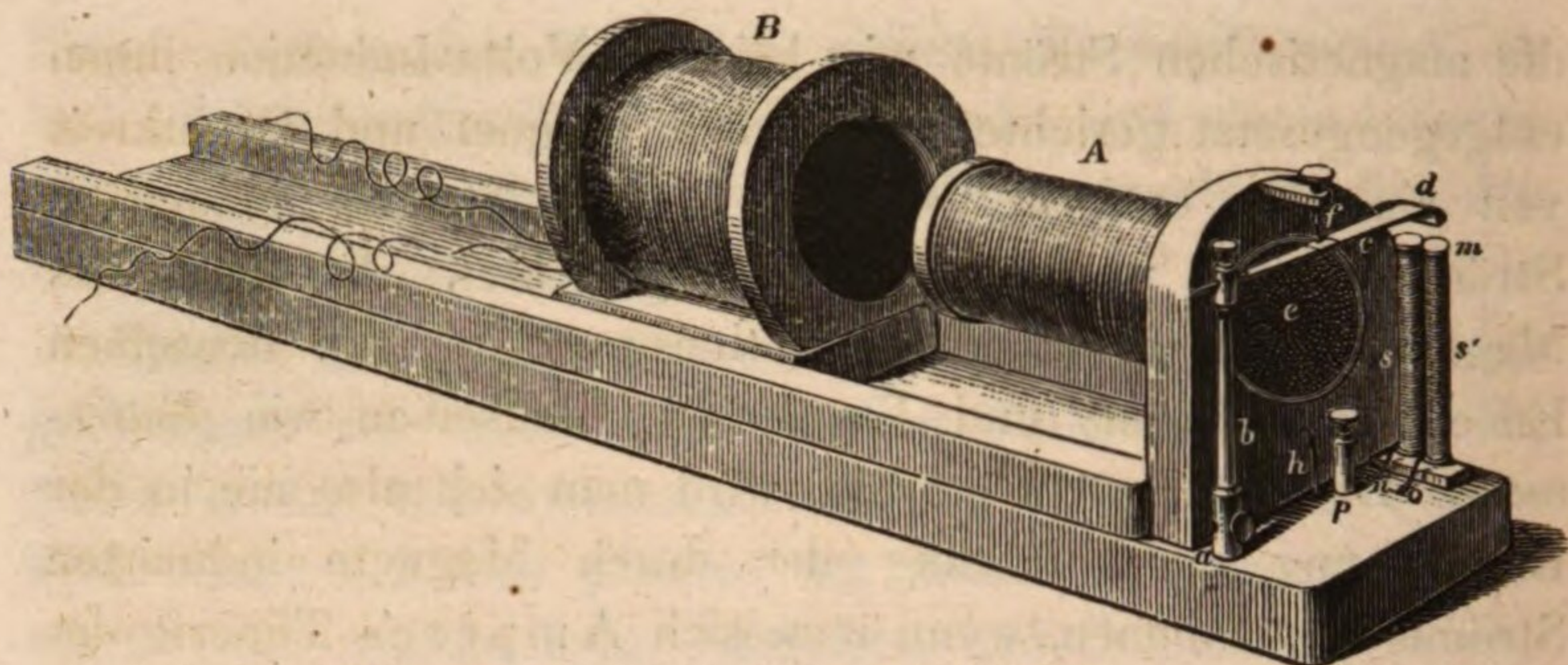
Magnete vermögen nun unter zweierlei Umständen in nachbarlichen Drahtkreisen electriche Ströme zu erzeugen: erstens, wenn beide gegen einander bewegt werden, zweitens, wenn in einem Eisenstück Magnetismus erregt oder zum Verschwinden gebracht wird. Diese Art der Electricitäts-erregung nennt man *Magnetoinduction*. In allen Fällen ist es nun leicht, die Richtung der inducirten Ströme zu bestimmen. Werden Magnet und Drahtkreis gegen einander bewegt, so hat der Strom im letztern die entgegengesetzte Richtung von den magnetischen Strömen, welche dem Pole zukommen, gegen welchen die Bewegung geschieht; denn dann induciren

die magnetischen Ströme wie bei der Volta-Induction ihnen entgegengesetzt gerichtete. Werden Magnet und Drahtkreis von einander entfernt, so sind die in letzterm inducirten Ströme mit den magnetischen gleichgerichtet. *Erzeugung* des Magnetismus hat für die Inductionerscheinungen denselben Effect wie *Näherung* und *Verschwinden* denselben wie *Entfernung*. Dem Gesagten gemäß, wird man sich also nie in der Bestimmung der Richtung der durch Magnete inducirten Ströme irren können, wenn man sich Ampère's Theorie des Magnetismus vergegenwärtigt, mithin in Gedanken an die Stelle des betreffenden Magnetpols seine Ströme setzt und dann die für die Volta-Induction geltenden Gesetze in Anwendung bringt.

Sind die Drahtkreise *offen*, so treten unter allen Umständen an ihren Enden, gleichwie bei der voltaschen Induction, Spannungserscheinungen auf, welche, wenn jene geschlossen wären, Ströme nach den vorher angegebenen Regeln zu Stande bringen würden.

Die bisherigen Mittheilungen über Induction werden genügen, die in der Nervenphysiologie häufig gebrauchten *Inductionsapparate* zu verstehen. Wir beschreiben zwei derselben ausführlich; jeder repräsentirt eine besondere Gattung:

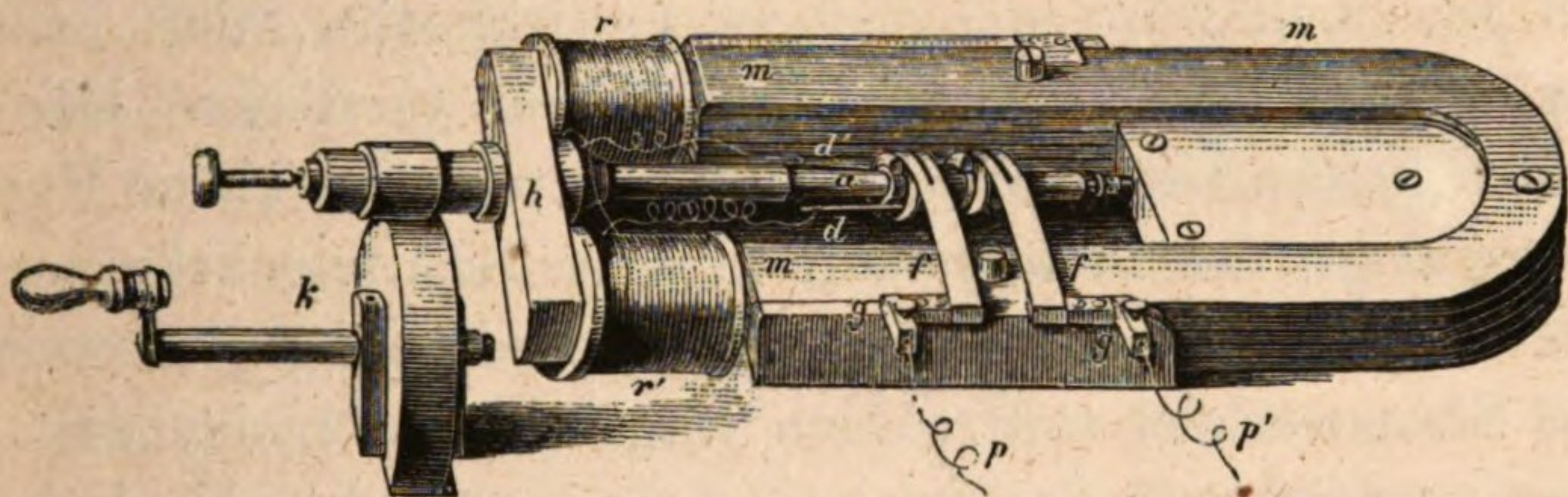
a) *Inductionsapparat nach du Bois-Reymond*. Er ist eine Abänderung des Neeff'schen Apparates und gründet sich auf die Induction durch den electrischen Strom und auf den durch letztern bewirkten Magnetismus eines Eisenkerns. Fig. 11 (siehe S. 32) stellt diesen Apparat dar. Er wird am leichtesten verständlich werden, wenn wir uns denselben im Gang denken und das Spiel der Theile im Einzelnen verfolgen. Als Electricitätsquelle dient eine constante (hier nicht gezeichnete) Kette; ihr negativer Pol sei mit der Messingschraube p verknüpft, ihr positiver führe zu der Messingsäule b und sei in deren unterstem Ende, bei a, eingeklemmt. Dann nimmt der Strom unter folgenden Wirkungen folgenden Verlauf. Er steigt in b auf und tritt auf die am obern Ende eingeklemmte Feder c, welche in der gezeichneten Lage an die metallische Schraube f stößt und daher den Strom zu dieser selbst leitet;



von *f* tritt er auf ein ihr als Mutter dienendes Messingstück und von da in den Draht der Rolle *A*; nachdem er diesen in seiner ganzen Länge durchlaufen hat, nehmen wir ihn bei *h*, der unmittelbaren Fortsetzung des Drahtes der Rolle, wieder auf; da *h* in einer Fuge des Bretes mit *n* in Verbindung ist, tritt der Strom bei *n* in den übersponnenen Draht, mit welchem die Eisensäule *s* umwickelt ist; bei *m* tritt er in den Draht der ebenso beschaffenen Säule *s'* und durch *o*, welcher mit *p* in metallischer Verbindung ist, zum negativen Pol der Kette zurück. Die beiden Eisensäulen sind an ihren Füßen durch ein Querstück von Eisen in Verbindung, stellen also, so lange der Strom in dem sie umwickelnden Drahte kreist, einen Hufeisenmagneten vor, welcher den am Ende der Feder *c* befindlichen, kleinen eisernen Anker *d* anzieht. Dadurch aber wird die Kette bei *f* geöffnet, der Hufeisenmagnet verliert damit seinen Magnetismus, läßt den Anker fahren und die Feder schnellt gegen *f*, um von neuem die Kette zu schließen. Auf diese Weise also wird die Kette fortwährend geschlossen und geöffnet und damit unterbrochene Ströme von *entgegengesetzter* Richtung in der Rolle *B* inducirt, deren man sich dann zu den jedesmaligen Zwecken bedient. Die Rolle *B* ist auf einem Brete bis über *A* verschiebbar, wodurch Inductionsströme von verschiedener Stärke gewonnen werden können. Die Rolle *A* enthält in ihrer Höhlung eine Menge wohl gefirnifster Eisendrähte *e*, deren Bedeutung folgende ist. Wenn der Hauptstrom der Rolle *A* verschwindet, verschwindet auch zugleich der inducirte Magnetismus der Eisenstäbe. Es wirken

mithin inducirend auf die Rolle B der verschwindende Hauptstrom und der verschwindende Magnetismus und zwar beide in *demselben Sinn*. Daher muß der der Oeffnung entsprechende Inductionsstrom bedeutend *verstärkt* werden. Es sind aber von einander isolirte Drähte und kein massiver Eisen-cylinder gewählt, weil der verschwindende Hauptstrom zugleich in dem Eisen Ströme erzeugt, welche das Verschwinden des Magnetismus und folglich seine Inductionswirkung auf B hindern, in von einander wohl isolirten Drähten aber die Bildung solcher Ströme weit weniger als in einem einzigen Eisenkern statt findet.

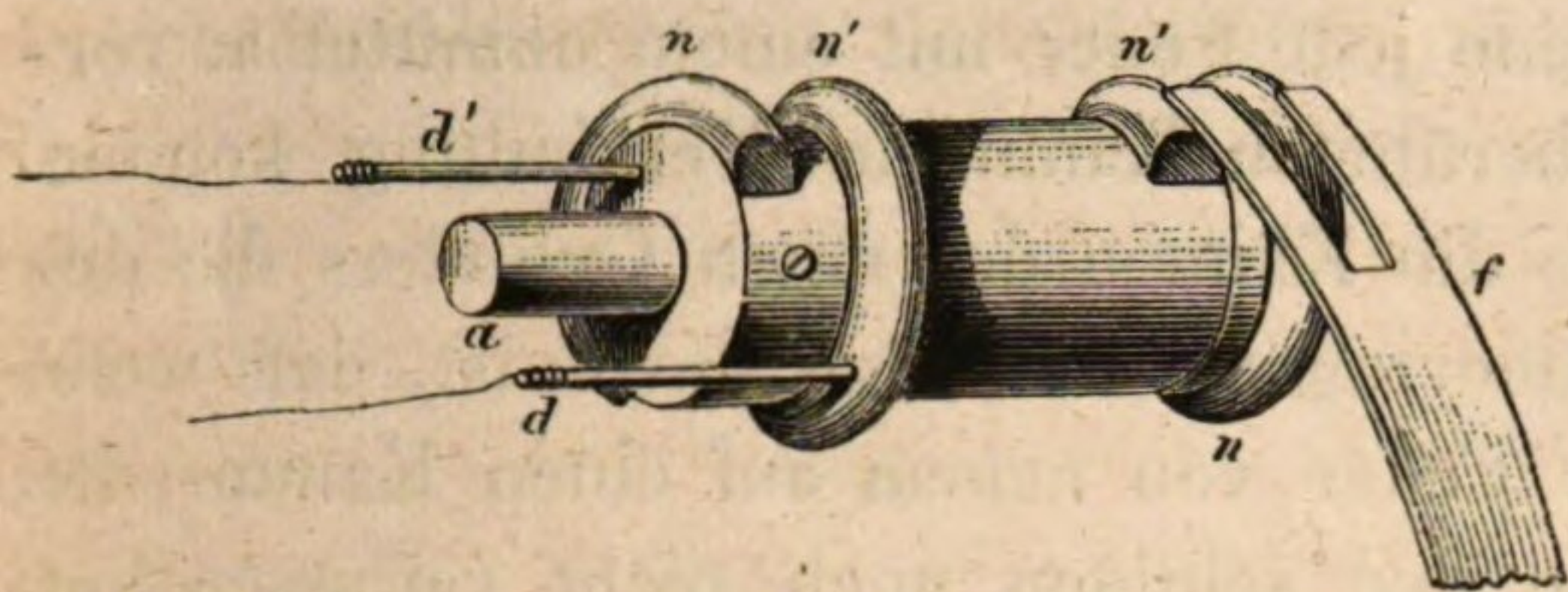
b) *Magnetoinductionsapparat, Rotationsmaschine*, auch *Saxton'sche Maschine*, nach ihrem ersten Erfinder. Dieser blofs auf *Magnetoinduction* beruhende Apparat wird in seinen Haupttheilen durch Fig. 12 dargestellt, eine Einrichtung, welche ihr



Stöhrer gegeben. Er besteht aus folgenden Theilen: *m* ist ein aus mehreren Lamellen bestehender, guter Stahlmagnet; seinen vordern Enden gegenüber findet sich ein Hufeisen *h r r'* von weichem Eisen, *Inductor* genannt; die auf *h* senkrecht stehenden Arme *r r'* desselben sind mit Holzspulen überzogen und diese mit feinem, gut übersponnenem Draht in *Widersinn* umwickelt. Das Hufeisen ist auf einer Axe *a* befestigt, welche durch die Kurbel *k* in Rotation versetzt wird. Untersuchen wir jetzt, was geschieht, während das Hufeisen eine ganze Umdrehung vollendet. Gesetzt, die beiden Rollen *r r'* stehen ruhig so, daß ihre gerade Verbindungslinie mit der der beiden Pole des Magneten *m* zusammenfällt. Dann ist zwar in dem Hufeisen aus weichem Eisen der stärkste Magnetismus entwickelt, aber da eine Stromerzeugung in dem Draht nur beim *Entstehen* und *Verschwinden* von Magnetismus

statt findet, ist für diesen Augenblick die Stromstärke noch Null. Während der ersten halben Umdrehung entfernt sich ein jeder Eisenkern von dem Magnetpol, vor dem er ruhig stand und bewegt sich gegen den andern, damit verschwindet zuerst der in ihm inducirt gewesene Magnetismus und alsdann wird der entgegengesetzte in ihm rege. Da aber das Verschwinden eines Magnetismus und das Erregen des entgegengesetzten Ströme in derselben Richtung entwickelt; so folgt, daß der während der ersten halben Umdrehung in dem Drahtgewinde eines Eisenkerns entstehende Strom seine Richtung nicht ändern kann. Da der andere Eisenkern während der genannten Zeit entgegengesetzte magnetische Zustände annimmt, so würde er auch in dem ihm zugehörigen Drahtgewinde einen Strom entgegengesetzter Richtung induciren, wenn der Draht nicht zugleich auch in entgegengesetztem Sinn gewickelt wäre und dadurch bewirkt wird, daß er den dem ersten Eisenkern zugehörigen Strom verstärkt. Bei der zweiten halben Umdrehung aber muß, wie eine kleine Ueberlegung zeigt, der Inductionsstrom seine Richtung kehren. Es findet mithin während einer ganzen Umdrehung ein zweimaliger Stromwechsel statt. Man vergesse aber nicht, daß die eben beschriebenen Ströme während einer halben Umdrehung nicht gleiche Stärke besitzen, sondern anschwellen, ein Maximum erreichen, wenn die die Rollen verbindende Gerade auf der Verbindungslinie der Pole des Magneten senkrecht steht, abnehmen und auf Null herabsinken, wenn die Rollen den Polen gerade gegenüber stehen. Uebrigens ist dies nur im Allgemeinen richtig, indem mit der Drehungsgeschwindigkeit die Stellung der Rollen, in welcher sie den stärksten Stromantheil entwickeln, veränderlich ist.

Ein wesentlicher Theil des Apparates ist noch der Commutator. Von ihm gibt Fig. 12a (siehe S. 35) eine deutlichere Ansicht. Er hat den Zweck, die im Draht bei einer einmaligen Umdrehung des Inductors in ihrer *Richtung wechselnden* Ströme in *gleichgerichtete* zu verwandeln. Er besteht aus zwei hohlen, über einander geschobenen Messingcylindern, welche beide sorgfältig von einander isolirt sind. Der erstere



sitzt unmittelbar auf der Axe auf und trägt an seinem Ende die halb-ringförmigen Stahlkämme nn ,

der zweite die ähnlichen $n'n'$. Die von den Inductionsrollen kommenden Drähte sind an zwei Stifte angelöthet, von denen der eine d' zum einen, der andere d zum andern Messingcylinder führt. An dem Kasten, in welchem der ganze Apparat eingeschlossen ist, sind zwei Stahlfedern ff (siehe Fig. 13, S. 44) angeschraubt, welche den Strom von den Stahlkämmen aufnehmen und zu den Drähten $p p'$ führen. Eine jede dieser Federn ist, wie aus Fig. 12a zu ersehen, gespalten und je ein Theil derselben ist bestimmt, auf je einem Kamm je eines Cylinders zu schleifen und zwar so, daß während der einen halben Umdrehung der eine Theil der Feder mit einem Kamm des äußern, während der andern halben Umdrehung der andere mit einem Kamm des innern Cylinders in metallischer Verbindung ist. Ueberdies ist aus der gegenseitigen Stellung der Kämmen beider Cylinder ersichtlich, daß wenn ein Theil der einen Feder auf einem Kamm des äußern Cylinders schleift, jedesmal ein Theil der andern auf einem Kamm des innern aufliegt und umgekehrt. Hieraus folgt, daß wenn der zu d und d' sich begebende Strom in seiner Richtung *unveränderlich* wäre, man während einer ganzen Umdrehung von den Federn ff Ströme in umgekehrter Richtung erhalten würde. Ist aber der Commutator so auf der Axe befestigt, daß in demselben Augenblick, wo der Strom in den Drähten $d' d$ seine Richtung kehrt, d. h. wenn die Inductionsrollen gerade vor den Magnetpolen stehen, auch andere Federtheile auf andern Kämmen schleifen, so wird der Strom in $p p'$ immer dieselbe Richtung beibehalten. In der That gibt man für gewöhnlich dem Commutator auf der Axe diese Stellung. Endlich muß noch einer für den Physiologen wichtigen Einrichtung dieses Apparates gedacht werden. Es wurde nämlich vorhin erwähnt, daß zu derselben Zeit, in welcher der Strom seine Richtung

wechselt, jedesmal eine jede Feder mit einem unmittelbar vorher von ihr nicht berührten Kamm in Verbindung komme. Man sieht aber, daß die Kämme des einen Cylinders die des andern um Einiges überragen; die Folge davon ist, daß wenn der eine Theil einer Feder von neuem auf einen Kamm tritt, der andere derselben den seinigen noch nicht verlassen hat. So lange dies statt findet, tritt der Strom von einem Kamm durch die Feder sogleich zum andern, so daß, wenn während dieser Zeit zwischen p p' ein großer Widerstand, z. B. der menschliche Körper oder ein Nerv eingeschaltet ist, derselbe nur eine schlecht leitende Nebenschließung bildet. So bald aber jene Feder völlig von ihrem Kamm abtritt, entsteht durch das theilweise Verschwinden des vorher starken Stromes ein kräftiger Extracurrent, welcher dann vermöge seiner großen Spannung den schlecht leitenden Widerstand durchfährt. Auf der Bildung dieses Stromes beruht eigentlich die bedeutende physiologische Wirkung dieser Apparate.

Da bei der eben beschriebenen Maschine kein Stromwechsel statt findet, hat man bisweilen nöthig, zu untersuchen, welcher von den Drähten p p' die positive Electricität liefert. Dies kann freilich durch Verfolgung des Vorgangs an der Maschine geschehen, allein dies ist immer zeitraubend und erfordert Aufmerksamkeit. Man thut daher besser und untersucht dies mit Hilfe der Electrolyse. Zu dem Ende verknüpft man p p' mit Platindrähten und setzt diese mit einem Stück Jodkaliumpapier oder Jodkaliumstärkebrei in Verbindung, die positive Electrode zeichnet sich sofort durch ihre *Färbung* aus.

Nach diesen einleitenden Betrachtungen wenden wir uns jetzt unserem eigentlichen Gegenstande zu. Wir zerfallen uns denselben behufs sicherer Betrachtung in zwei Abschnitte. In dem ersten, der **Nervenphysik**, sollen einzelne Nerventheile *aufser allem Zusammenhang* mit andern Theilen des thierischen Körpers auf ihre physikalischen Eigenschaften mit den Hilfsmitteln der Physik geprüft werden, während in dem zweiten, der **Nervenphysiologie**, die Nerven im Zusammenhang unter sich und mit den verschiedenen Organen, zu denen sie sich begeben, untersucht werden sollen.

Nervenphysik.

§. 6.

Chemische und physikalische Eigenschaften der Nervensubstanz im Allgemeinen.

Ueber die *chemischen* Eigenschaften der Nervensubstanz weiß man äußerst wenig. Zwar kennen wir in ziemlich ausgedehnter Weise das microchemische Verhalten der Nervenfasern *), auch sind mehre vollständige Analysen der Gehirns- substanz von Couërbe, Vauquelin, Denis, Lassaigne, Fremy, Gobley und Schlofsberger vorhanden, aber

*) Wer sich dafür interessirt, findet eine gute Zusammenstellung der hierher gehörigen Thatsachen bei Lehmann : Physiologische Chemie III, S. 114.

zur Zeit dürfte sich unter diesen Angaben kaum eine einzige Thatsache vorfinden, welche zur Erklärung gewisser Vorgänge in den Nerven verwandt werden könnte.

Die *physikalischen* Eigenschaften anlangend, dürfen uns nur diejenigen beschäftigen, durch deren nähere Betrachtung uns das Wesen der Nerventhätigkeit unmittelbar erschlossen wird, oder von denen wir mit einiger Sicherheit erwarten dürfen, daß sie dazu in nächster Zeit mit beitragen helfen werden. So würde es z. B. für den Augenblick vollkommen sinnlos sein, Wertheim's Untersuchungen über die *Cohäsions-* und *Elasticitätsverhältnisse* der Nerven *hier* auseinander zu setzen, denn zur Zeit haben wir noch nicht die mindeste Vorstellung davon, wie aus einer Einsicht in die beiden genannten physikalischen Eigenschaften des Nerven eine solche in das Wesen des Innervationsvorganges folgen oder auch nur angestrebt werden sollte. Vor allen Dingen sind es aber, wie der weitere Verfolg zeigen wird, die *electrischen* Eigenschaften des Nerven, die hier ausführlich betrachtet zu werden verdienen. In dieser Beziehung nun haben wir den Nerven theils als *Leiter*, theils als *Erreger* von Electricität zu untersuchen.

§. 7.

Galvanisches Leitungsvermögen des Nerven — ruhender Nervenstrom.

Aeltere Forscher, auf unklare Vorstellungen über die Identität des sogenannten Nervenagens und des galvanischen Stromes fußend, hielten den Nerven für einen *guten* Leiter der Electricität. Sobald jedoch in der Physik die schlechte Leitungsfähigkeit der Flüssigkeiten und der feuchten Substanzen überhaupt zur geläufigen Vorstellung wurde, machte der Nerv keine Ausnahme mehr. Jedoch erst E. Weber gelangte

*) Quaestiones physiologicae de phaenomenis galvano-magneticis in corpore humano observatis.

durch methodische, wenn auch heut zu Tage nicht mehr ganz vorwurfsfreie Versuche *) zu der schärferen Angabe, daß die thierischen Gewebe, der Nerv nicht ausgenommen, etwa 10 bis 20mal besser als destillirtes Wasser, mithin etwa, da das destillirte Wasser bei einer mittleren Temperatur einen 4000 Millionen mal größern Leitungswiderstand als Kupfer bietet, 200 bis 400 Millionen mal schlechter als Kupfer leiten. Für die Betrachtung gewisser, später anzuführender Erscheinungen ist es indess nöthig, Kenntniß von der Leitungsfähigkeit des Nerven in Bezug zu der der andern Gewebe des thierischen Körpers zu haben. Matteucci machte in dieser Beziehung die Angabe, daß der Nerv etwa 4mal schlechter, als der Muskel leite; allein diese Angabe kann aus mancherlei Gründen nicht richtig sein. Zufolge meiner Versuche leitet der Nerv nur etwa 1,6mal schlechter als der Muskel und hat ohngefähr dieselbe Leitungsfähigkeit wie die Sehne. Auf die Auseinandersetzung der Methode, die Leitungswiderstände der thierischen Gewebe mit einander zu vergleichen, kann hier nicht eingegangen werden. Man kann sie am unten citirten Ort nachlesen **).

Ungleich wichtiger, als die *Leitungsfähigkeit* des Nerven, sind indess seine *electromotorischen* Eigenschaften und zwar deshalb, weil ein genaues, allseitiges Studium derselben zur vollständigen Erkenntniß der Vorgänge, die wir als Nerventhätigkeit zu bezeichnen pflegen, führen wird, wie die folgenden Mittheilungen beweisen werden. Vorerst beschäftigen wir uns mit den electromotorischen Eigenschaften von Nerventheilen, welche in keinerlei Weise solchen äußern Eingriffen ausgesetzt sind, daß wenn mit jenen physiologische Prüfungsorgane, Muskel oder Hirn, in Verbindung wären, diese in Bewegungszustände gerathen würden.

*) Sie sind ohne Berücksichtigung der Polarisation, von welcher man damals noch nicht genauere Kenntniß hatte, angestellt, eine Bemerkung, welche natürlich E. Weber nicht zum Vorwurf gereicht.

**) C. Eckhard, Beiträge zur Physiologie. 1. Heft, welches demnächst erscheinen wird.

Das vorzüglichste *Mittel* zu dieser Untersuchung ist der Multiplicator mit langem, dünnem Draht und astatischer Nadel. Wegen des ungemein großen Widerstandes, welchen die Nerven bieten, ist diese Wahl in Uebereinstimmung mit den auf S. 15 gemachten Bemerkungen geboten. Die Erfahrung hat überdies gelehrt, daß wenn ein Multiplicator für alle in dies Gebiet einschlagende Versuche vollkommen brauchbar sein soll, er nicht leicht unter 12—16000 Windungen eines 0,15^{mm} i. D. dicken Drahtes besitzen darf. Die Einschaltung der Nerven in den Multiplicatorkreis darf nicht so geschehen, daß jene unmittelbar mit den metallischen Enden dieses in Berührung gebracht werden; denn verschiedene Punkte, auch der scheinbar reinsten Metalloberfläche, sind fast niemals electromotorisch gleich und man würde daher bei jener Art des Einschaltens nie darüber sicher sein, ob ein beobachteter Strom seinen Ursprung electrischen Kräften im Nerven oder nur dem Umstand verdanke, daß man zwei electromotorisch verschiedene Stellen der Multiplicatorenden mittelst eines feuchten Leiters, des Nerven nämlich, zum Kreise geschlossen habe. Dieser Unsicherheit auszuweichen, bedient man sich der folgenden, von du Bois-Reymond ersonnenen Vorrichtung, welche sich als brauchbar bewährt hat. Die Enden des Multiplicatordrahtes werden mit zwei Platinblechen verknüpft, welche aus einem Stück geschnitten, nach Ausglühen und Behandlung mit Kali und Salpetersäure mit destillirtem Wasser sorgfältig abgewaschen worden sind. Sie tauchen in Gefäße mit filtrirter, concentrirter Kochsalzlösung, aus welcher sich zwei Bäusche von Fließpapier erheben. Durch einen dritten Bausch schließt man den Kreis und läßt sich dessen Ungleichartigkeiten ausgleichen. Ist dies geschehen, so überkleidet man einen jeden der beiden Bäusche mit einem Stück aufgeweichter und in Eiweiß getränkter Blase. Erst jetzt schaltet man zwischen diesen den Nerven ein und entfernt hierauf den Schließungsbausch. Die erste Ausweichung der Nadel steht in keinem Verhältniß zu der später erfolgenden constanten Ablenkung, welche beträchtlich kleiner ausfällt, als man jenem zu Folge hätte erwarten sollen. Der Grund

davon ist, daß sich theils der auf die Bäusche aufgelegte Nerv verändert, theils aber und vor allen Dingen die beiden Platinbleche sich polarisiren. Der letztere Nachtheil schlägt indefs zu dem Vortheil um, daß nach Entfernung des Nerven aus dem Kreis und Schluß durch den Bausch man an der jetzt zu beobachtenden Richtung des Polarisationsstromes eine Controlle über die Richtung des vorherigen Nervenstroms erhält. Ich ersuche den Leser, nach dieser kurzen Mittheilung der Grundsätze, nach denen jeder Multiplicatorversuch auszuführen ist, das Ausführlichere bei du Bois nachzulesen *).

Indem nun der Nerv in verschiedener Weise in den Multiplicatorkreis eingeschaltet wird, ergeben sich folgende Thatsachen :

a) Wird ein Stück eines lebendigen Nerven, sei es ein motorischer oder sensibler, so in den Kreis eines Multiplicators eingeschaltet, daß einerseits ein Punkt des auf die Längsaxe des Nerven senkrecht geführten *Querschnittes*, andererseits ein Punkt der natürlichen Oberfläche, des *natürlichen Längsschnittes*, aufliegt, so kreist im Multiplicator ein Strom, der von dem letzteren Punkte durch den Multiplicatordraht zum erst genannten geht.

b) Wird ein Nervenstück mit zwei Punkten des *natürlichen* Längsschnittes, von denen der eine dem geometrisch mittleren Querschnitt näher liegt, als der andere, in den Multiplicatorkreis aufgenommen, so erhält man ebenwohl einen, obgleich viel schwächeren Strom, der vom erstern Punkt durch den Multiplicator zum letztern geht. Hierbei ist es vollkommen gleichgiltig, ob die beiden Punkte auf einer oder verschiedenen Seiten vom geometrisch mittleren Querschnitt liegen.

c) Jeder künstlich angelegte Querschnitt des Hirns oder Rückenmarks verhält sich negativ gegen die positive Oberfläche der Hirn-Rückenmarksaxe.

*) Untersuchungen über thierische Electricität. Bd. I, S. 203.

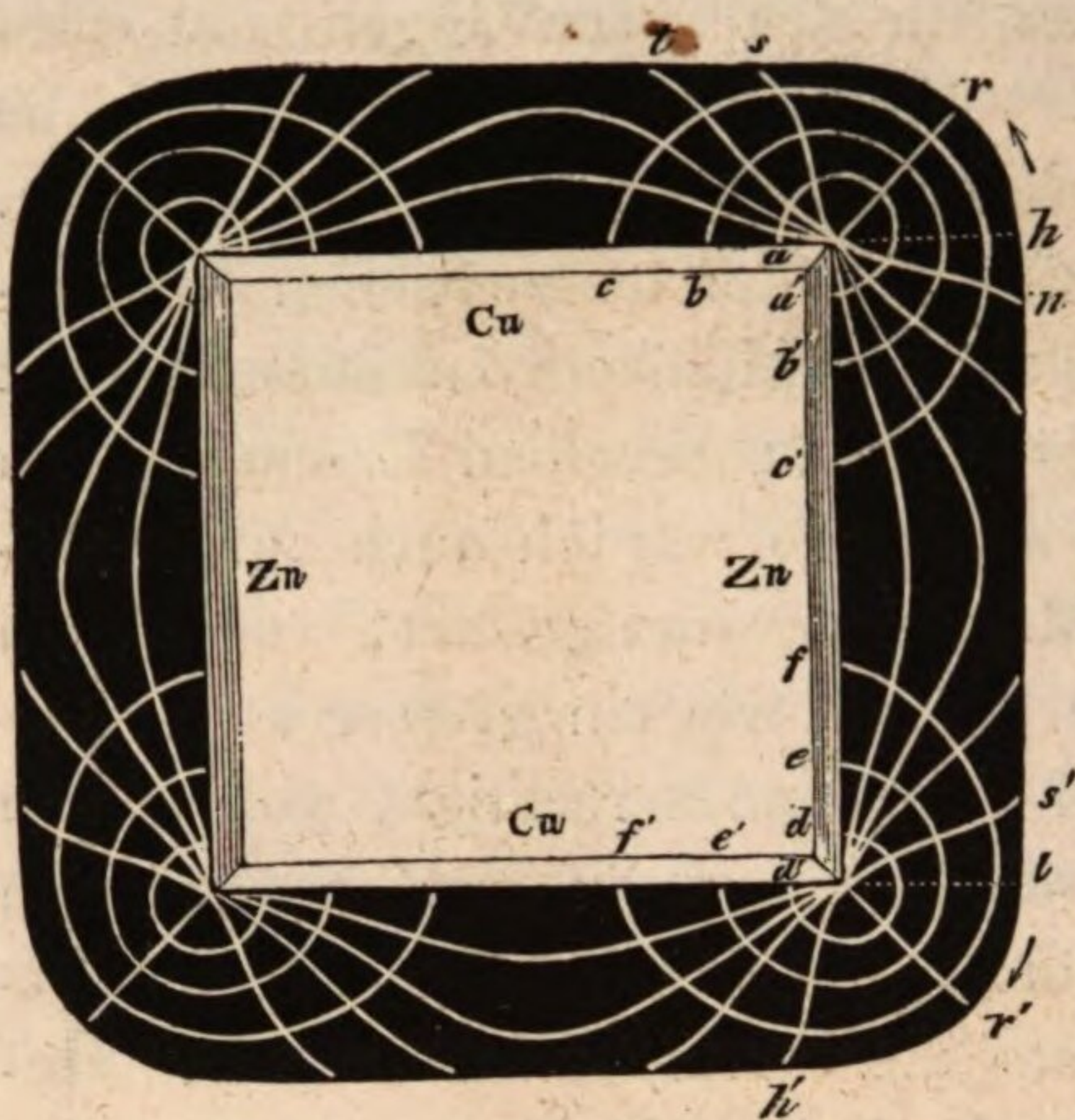
d) Ein Unterschied zwischen motorischen und sensibeln Fasern ist nicht aufgefunden worden, und ebenso hat sich zwischen grauer und weißer Hirnsubstanz keine electromotorische Verschiedenheit ergeben.

e) Die *Stärke* der Ströme anlangend, hat man gefunden, daß die Nadel annähernd oder vollständig in *Ruhe* bleibt, wenn man symmetrisch zum mittleren Querschnitt *) gelegene Punkte auflegt, daß sie dagegen allmählich wächst, wenn man bei gleich bleibender Entfernung der Bäusche, sogenannter gleicher *Spannweite*, immer mehr vom electromotorischen Aequator weg nach dem Querschnitt rückt, oder wenn man bei *veränderlicher* Spannweite, mit dem einen Bausch sich immer mehr dem Querschnitt nähert, während der andere unverrückt bleibt, wobei die Ströme, wenn sie von entgegengesetzten Seiten des electromotorischen Aequators gewonnen werden, die entgegengesetzte Richtung im Multiplicator befolgen. Das *Maximum* der Wirkung wird erhalten, wenn der eine Bausch den electromotorischen Aequator, der andere einen Querschnitt berührt.

Um dieses eigenthümliche, electriche Verhalten des Nerven und ebenso das des Muskels, welches bis hieher aufs Genaueste mit dem des Nerven übereinstimmt, zu erklären, hat man verschiedene Hypothesen aufzustellen versucht. Aber keine derselben erklärt sämtliche Einzelheiten des Nerven- und Muskelstromes so genau, als die Annahme, *daß der Nerv aus einer unbestimmten Menge, überall mit einer feuchten Schicht umgebener, peripolarer Molekeln bestehe, welche sämmtlich aus einer positiven Aequatorial- und zwei negativen Polarzonen zusammengesetzt und deren die letzteren verbindende Axen sämmtlich der Längsaxe des Nerven parallel gerichtet sind.* Es ist hier nicht unsere Absicht, im Einzelnen zu zeigen, wie genau alle *Einzelheiten* des Nervenstromes aus dieser Voraussetzung einsichtlich werden. Dies würde vorher noch die Darlegung ganz

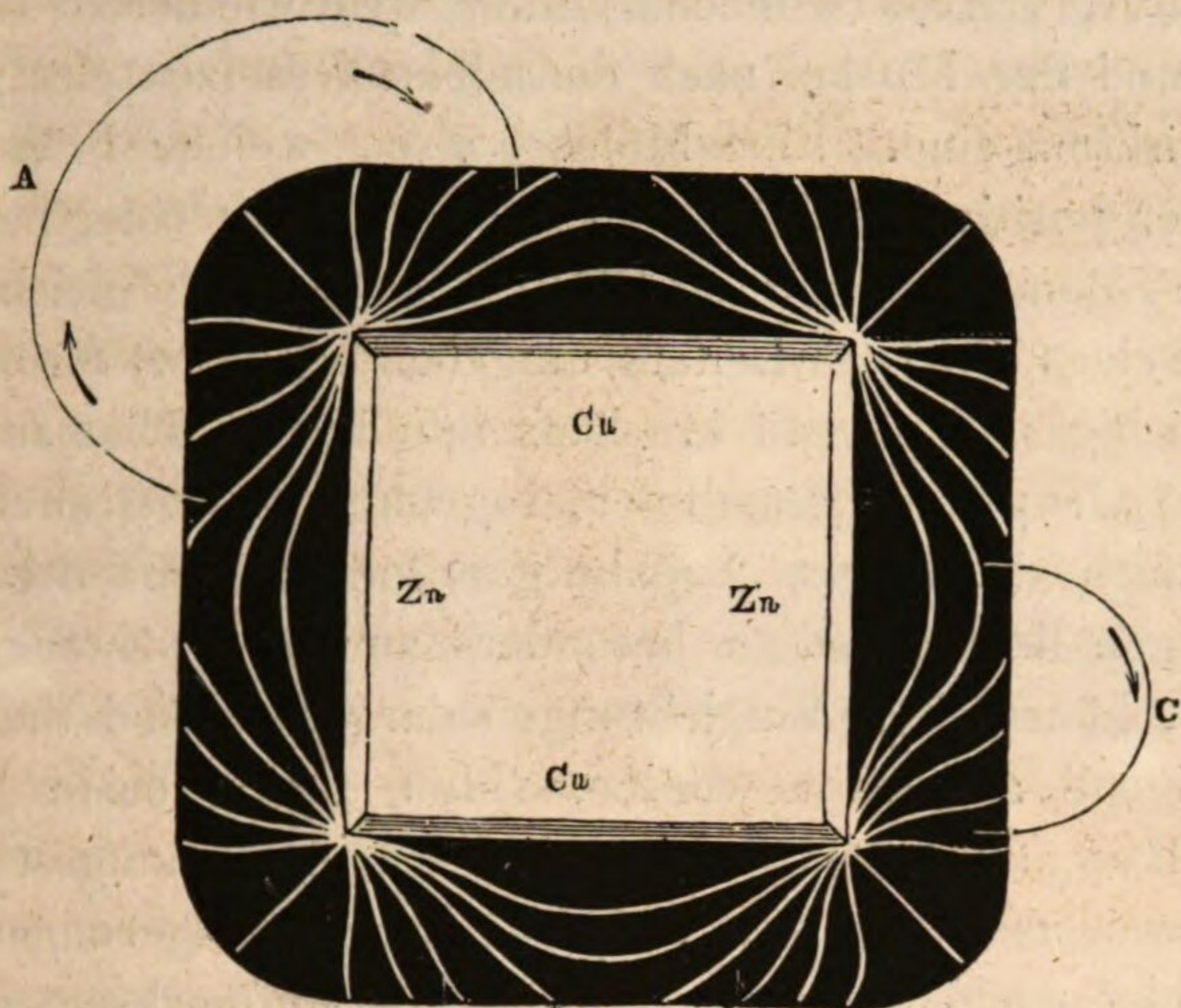
*) Der ideelle Querschnitt des Nerven, um welchen, wie sich aus dieser und den folgenden Angaben ergibt, die electromotorischen Kräfte symmetrisch angeordnet sind, heißt der electromotorische Aequator; er fällt *nicht genau* mit dem geometrisch mittleren Querschnitt zusammen.

specieller Lehren erfordern und da dies nicht in Kürze geschehen kann, so mag dies für den Leser Gegenstand eines weitem Studiums bleiben. Wir wollen nur folgende, die *Grundlagen* der Theorie betreffende Mittheilungen machen. Gerade so, wie wir zur Erklärung der magnetischen Erscheinungen uns einen Magnetstab aus Molekeln zusammengesetzt denken, von denen eine jede genau dieselben Erscheinungen zeigt, wie der ganze Stab selbst; so werden auch zur Erklärung des Nervenstromes Molekeln vorausgesetzt, von denen eine jede dieselben Ströme liefert, wie ein größeres Nervenstück. Wir sind zu dieser Annahme berechtigt, weil wir an den einzelnen kleinen Nervenstückchen, in welche wir einen ganzen Nerven noch für die Beobachtung brauchbar zu zerlegen im Stande sind, stets die Ströme nach denselben Gesetzen wiederkehren sehen. Es soll daher hier nur gezeigt werden, wie eine jede Molekel, welche den obigen Anforderungen entspricht, Ströme gleich einem jeden beliebigen Nervenstück liefern muß. Denkt man sich einen *kupfernen* Cylinder, dessen Mantel aus Zink besteht und dessen Grundflächen roth gelassen sind, so kann man zwar von einem solchen Ströme zwischen Längsschnitt (Zinkmantel) und Querschnitt (Kupfer-Grundflächen) ableiten, welche dieselbe Richtung haben, wie die analogen des Nerven und des Muskels. Dagegen sind von einem solchen keine Ströme zwischen zwei verschiedenen Punkten des Längsschnittes, wie vom Nerven, zu gewinnen. Letzteres kann aber noch außer Jenem geschehen, wenn wir uns den genannten Cylinder in eine leitende Flüssigkeit von überall gleicher Dicke eingesenkt denken. Denn alsdann findet nach Fig. 13 (siehe S. 44) Folgendes statt. Von einem jeden Punkte $a' b' \dots f e d$ des Zinks geht ein Strom durch die Flüssigkeit in der Richtung der Pfeile zum Kupfer. Die *Stärke* der verschiedenen Ströme hängt von der Länge ihrer Wege ab, je größer diese, desto schwächer jene. Es werden daher die von der Mitte des Zinkmantels ausgehenden und in der Mitte der Kupferflächen eintretenden Ströme am schwächsten sein. Die die Ströme andeutenden krummen Linien, wie $c' c$, $b' b$, $f f'$, $e e'$ heißen *Strömungskurven*.



Nun wissen wir aber, daß in jeder durch einen überall *gleich* beschaffenen Bogen geschlossenen Kette in der Mitte des Schließungsbogens sich Electricität von der Spannung Null vorfindet, daß letztere nach beiden Seiten hin allmählig *zunimmt* und daß diese Spannungen bei gleicher electromotorischer Kraft um so größer ausfallen, je größer die Wider-

stände der Kette sind. Wir müssen uns daher auf einem jeden Punkte der zahllosen Strömungscurven Electricität von einer Spannung denken, wie sie der Länge des Stromweges und der Entfernung von dem electromotorischen Berührungspunkt entspricht. Verbinden wir dann in Gedanken auf allen Strömungscurven jedesmal die Punkte *gleicher* Spannung, so erhalten wir eine Reihe von Curven, wie z. B. die von der Ecke h als h n ausgehende und bei dem Punkte l als s' l eintretende, welche die Strömungscurven im Allgemeinen rechtwinklich schneiden; man nennt sie *isoelektrische Curven*. Sie sind besonders in Fig. 14 (siehe S. 45) dargestellt. Man sieht nun, daß man von einer solchen Vorrichtung dieselben Ströme, wie von einem Nerven und Muskel ableiten kann, wie dies in der That auch von du Bois-Reymond an einem besonders zu diesem Zwecke construirten Apparate geschehen ist. Bei Anlegung des leitenden, den Multiplicator enthaltenen Bogens wie in der Stellung A wird ein Strom von der Zinkfläche (Längsschnitt) durch den Bogen zur Kupferfläche (Querschnitt) gehen; denn welche besondere Lage man auch den Fußpunkten des Bogens in dieser Stellung anweisen mag, immerhin verbinden sie Punkte *entgegengesetzter* Spannung, und es muß daher ein Strom in der angegebenen Richtung



zu Stande kommen. Bei der Stellung C des Bogens muß eben wohl ein Strom entstehen und zwar von dem dem mittleren Querschnitte des Cylinders näher gelegenen Punkte durch den Bogen zu dem jenem ferner liegenden. Zwar sind nicht zwei Punkte, welche der *Art* nach *verschiedene* Electricitäten tragen, aber doch immerhin solche von *verschiedener und zwar solcher Spannung* in Verbindung gesetzt, daß der dem mittleren Querschnitt nähere Fußpunkt des Bogens auf einem Punkte stärkerer Spannung ruht, als der demselben fernere und somit die Ausgleichung in der bezeichneten Weise vor sich gehen muß. Man sieht ferner ein, daß wenn man in unserem Schema zwei ungleichweit von dem Mittelpunkt über der Kupferfläche liegende Punkte durch einen leitenden Bogen mit einander in Verbindung setzen würde, in letzterem ein Strom von dem der Peripherie näher gelegenen Punkte zu dem ihr ferner liegenden gefunden werden würde; denn Punkte geringerer negativer Spannung sind als positiv gegen die stärkerer negativer Spannung zu betrachten. Wegen der Kleinheit des Querschnittes am Nerven sind die dieser Anordnung entsprechenden Ströme zwar an letzterem nicht, wohl aber an dem größern Querschnitt des Muskels nachgewiesen worden; man setzt sie aber

auch am Nerven als bestehend voraus, weil, wie bereits bemerkt, dieser und der Muskel nach denselben Gesetzen electromotorisch wirksam sind. Eine Molekel also, welche in der Mitte mit einer positiven (Zink), an jedem Ende mit einer negativen (Kupfer) Zone versehen und von einer überall gleich dicken Schicht eines feuchten Leiters umgeben ist, liefert Ströme, wie ein beliebiges Nervenstück. Dafs nun in der That auch jede gröfsere Gruppe so gestalteter, sogenannter *peripolarer* Molekeln, nach der obigen Angabe geordnet, dieselben Stromesrichtungen liefert, ist an besonders zu diesem Zweck hergestellten, künstlichen Vorrichtungen dargethan und theoretisch befriedigend abgeleitet worden. Man findet beides bei du Bois-Reymond*), welcher diese Theorie aufgestellt hat. Auf zwei aus derselben sich ergebende Folgerungen mufs indefs hier noch besonders ausdrücklich aufmerksam gemacht werden, obgleich sie sich eigentlich schon von selbst verstehen. Da nämlich jener zu Folge jede Nervenmolekel Ströme liefert, welche durch die dieselbe umgebende feuchte Schicht und die ganze Masse des Nerven geschlossen sind, so mufs man sich *den Nerven stets im Zustand der geschlossenen Kette befindlich denken*, woraus sich unmittelbar von selbst ergibt, *dafs die im Multiplicatorkreis beobachteten Ströme als abgeleitete zu betrachten sind und ihre Gröfse durchaus keine Vorstellung von den im Nerven vorhandenen electromotorischen Kräften gibt*. Die Gesammtheit der in diesem § abgehandelten Stromeserscheinungen belegt man, da bei ihrer Entwicklung die einzelnen Molekeln des Nerven in Folge äufserer Eingriffe keine Bewegungen erleiden, mit dem Namen des *ruhenden Nervenstromes*.

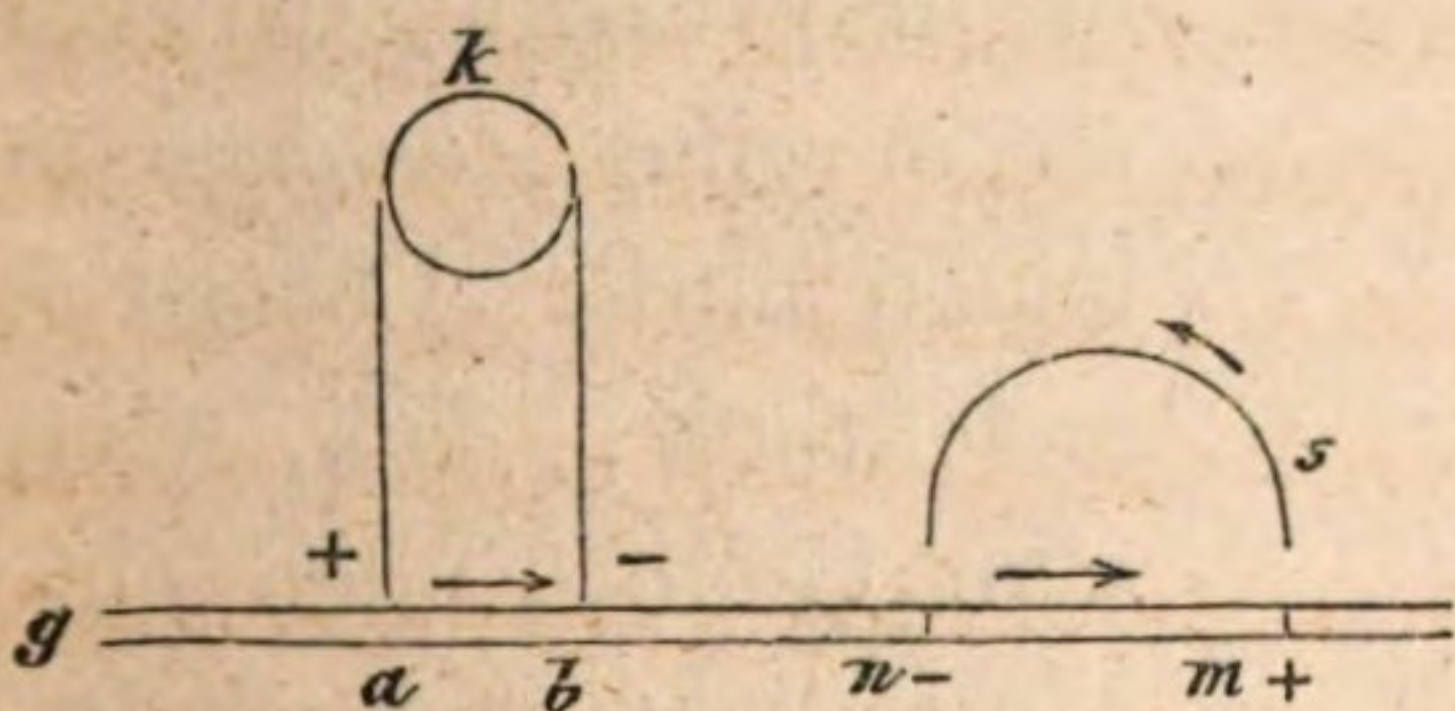
§. 8.

Der Electrotonus.

Wir gelangen jetzt zu denjenigen electrischen Erscheinungen des Nerven, welche beobachtet werden, wenn derselbe

*) Bd. I, S. 561 ff.

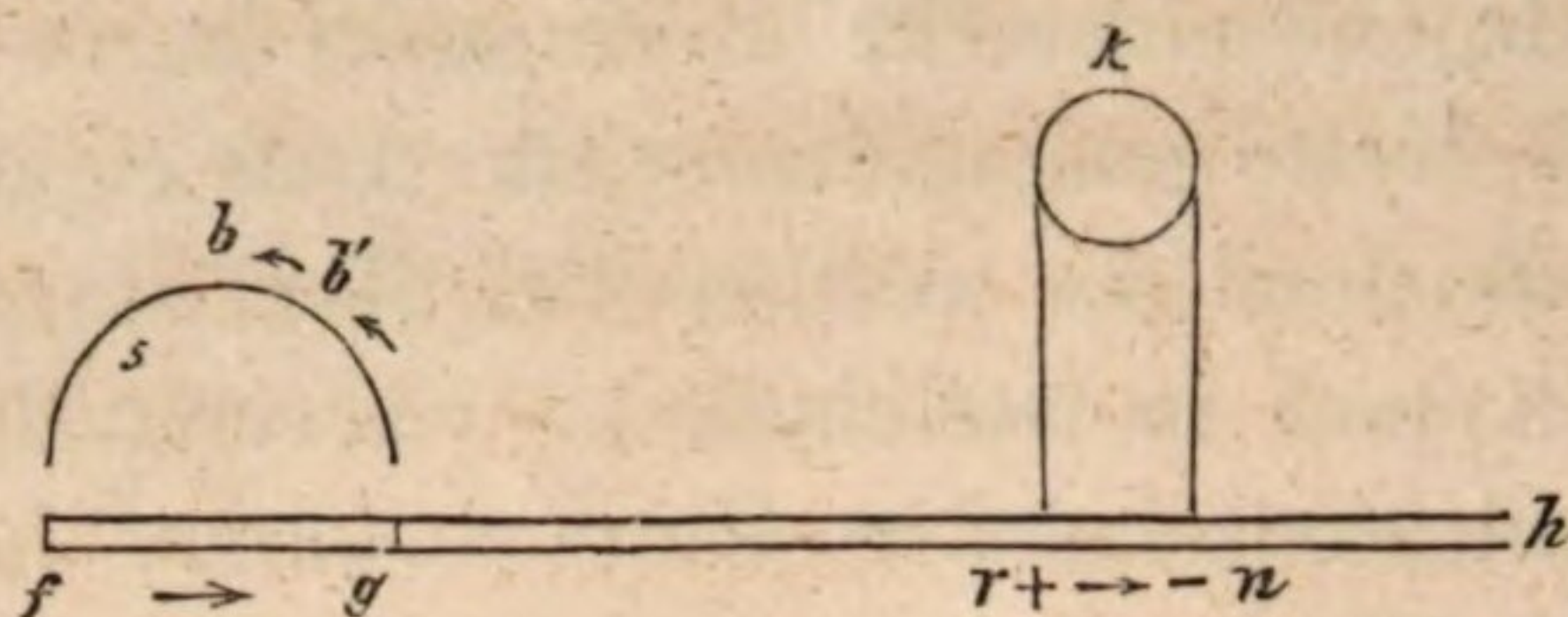
irgend welchen besondern äußern Einwirkungen ausgesetzt wird. Wir machen den Anfang mit denen, welche sich ergeben, wenn der Nerv an irgend einer Stelle seines Verlaufs in den Kreis einer *constanten* Kette genommen wird. Den eigenthümlichen, electrischen Zustand, in welchen der Nerv durch diese Einwirkung verfällt und in welchem er während der ganzen Dauer des Geschlossenseins der Kette beharrt, hat man mit dem Namen des *Electrotonus* desselben belegt. Sein Wesen besteht darin, daß der *Nerv unter Beibehaltung seines ursprünglichen Wirkungsgesetzes auf allen*, also auch auf den nicht unmittelbar von dem constanten Strom betroffenen *Punkten seiner Länge electromotorisch zu wirken anfängt, im Sinne des erregenden Stromes selber*, so daß also, wenn man sich zwei beliebige Punkte des Nerven durch einen leitenden Bogen verbunden denkt, sich in Folge dieses Zustandes in dem Nervenstück, welches von jenen zwei Punkten eingeschlossen wird und dem Bogen ein Strom bewegt, der jenes in derselben Richtung durchfließt, wie der Strom der constanten Kette dasjenige Nervenstück, welches in ihren Kreis eingeschaltet ist. Geht also z. B. in der beistehenden schematischen Zeich-



nung, Fig. 15, der Strom der Kette *k* durch das Nervenstück *a b* im Sinne des Pfeiles, so wird der ganze Nerv *g* dergestalt electrisch, daß wenn die zwei beliebig

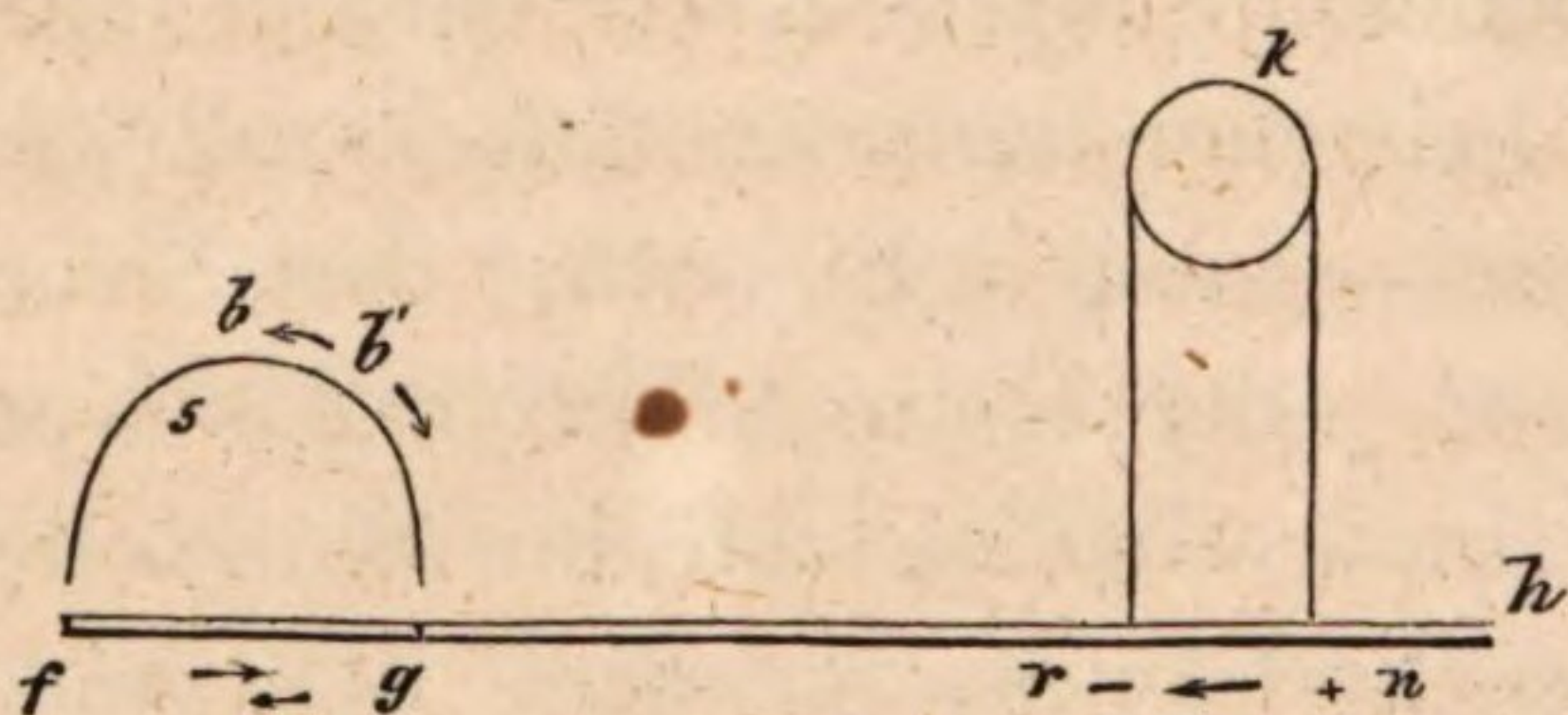
gewählten Punkte *n m* durch den Schließungsbogen *s* mit einander verbunden werden, in diesem und dem Nervenstück *n m* ein Strom kreist, welcher, wie der Pfeil andeutet, dieselbe Richtung im Nerven hat, wie der der Kette *k*. Da die Richtung des Stromes *s n m* dadurch gegeben ist, daß *m* positiv und *n* negativ ist, so drückt man wohl auch das Wesen des *Electrotonus* so aus, daß man sagt, er bestehe darin, daß jeder Punkt des Nerven sich *negativ* verhalte gegen jeden im Sinne des *erregenden* Stromes *vor* ihm gelegenen. Hieraus läßt sich jetzt im Voraus bestimmen, welches die Erscheinungen sein werden, wenn ein in den *Multiplicatorkreis*

eingeschalteter Nerv in den electrotonischen Zustand versetzt wird *). Es sei f h, Fig. 16, ein Nerv in den Multiplicator



mittels der Punkte g und f eingeschaltet; so wird der ursprüngliche Nervenstrom seinen Weg durch den Multiplicator in der

Richtung des Pfeiles b nehmen und eine bestimmte Nadelablenkung erfolgen. Jetzt werde das Stück r n in die constante Kette k so genommen, wie die beigefügten Zeichen angeben. Der ganze Nerv verfällt mit dem Schluss der Kette in electrotonischen Zustand und nach den obigen Regeln findet man, dass in demselben Schließungsbogen s, in welchem der ursprüngliche Nervenstrom in dem Sinne des Pfeiles b fließt, außerdem noch ein Strom, hervorgerufen durch den electrotonischen Zustand, im Sinne des Pfeiles b' fließen und jenen *verstärken* muss. Durch eine ganz ähnliche Ueberlegung findet



man, dass in einer Anordnung, wie Fig. 17, der ursprüngliche Nervenstrom eine *Abnahme* erleiden muss. Ebenso ist ersichtlich, dass, wenn man beide Enden eines

Nerven, je eines in einen besondern Multiplicator einschaltet, und in der Mitte zwischen beiden die constante Kette anbringt, an dem einen Ende Zunahme, am andern Abnahme des vorher vom Nerven abgeleiteten Stromes erfolgen wird. Dieser äußerst wichtige, aber umständliche und schwierige Versuch ist in der That von du Bois-Reymond ausgeführt worden. Von einer Zu- oder Abnahme des Nervenstroms durch den Electrotonus kann natürlich dann keine Rede sein,

*) Ich bemerke, dass diese Multiplicatorversuche es jedoch erst waren, welche zu dem obigen Ausdruck des Wesens des Electrotonus geführt haben. Sie sind daher hier als Beweis jenes anzusehen.

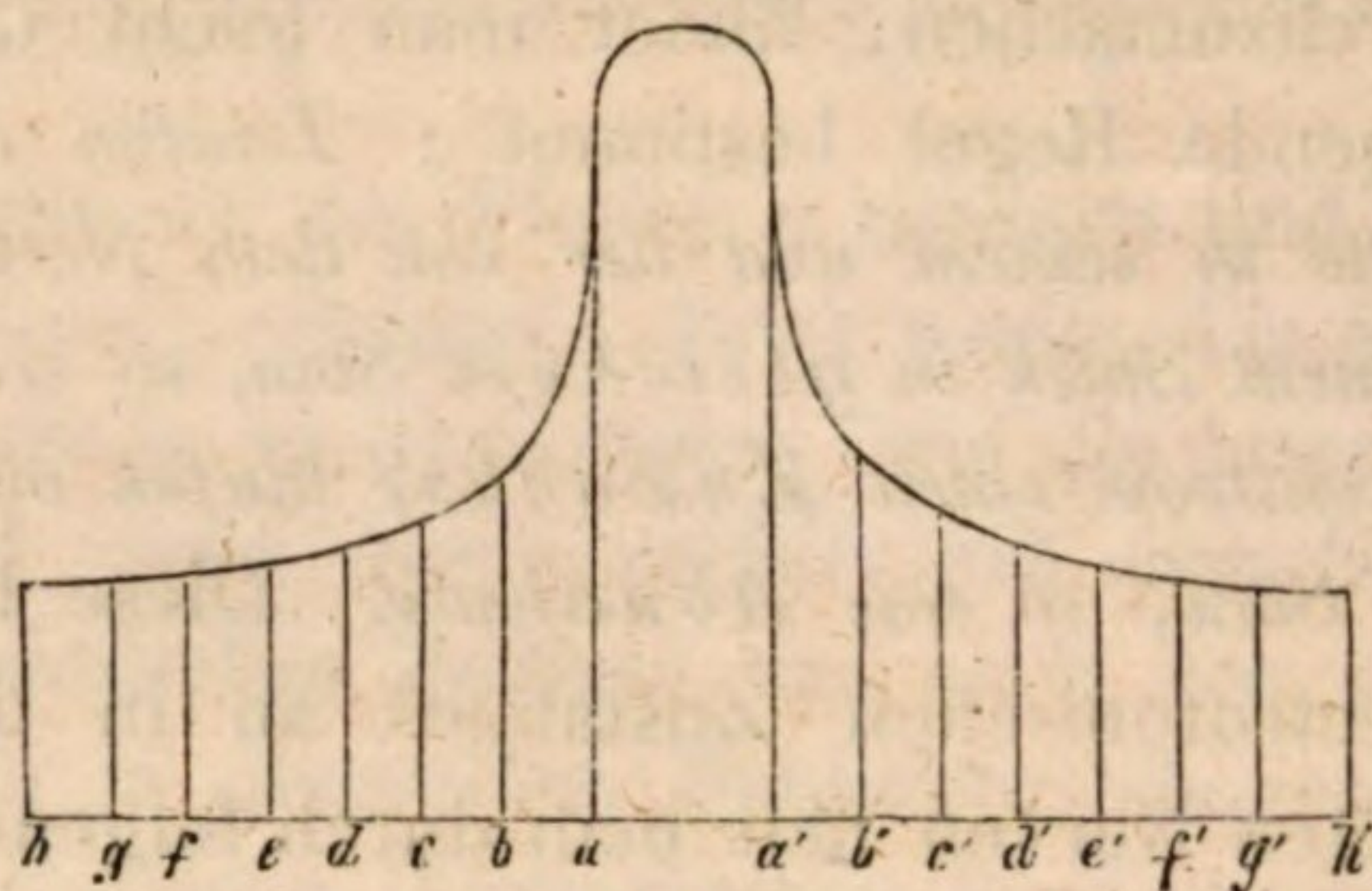
wenn zwei symmetrisch zum electromotorischen Aequator gelegene Stellen auf die Multiplicatorbäusche aufgelegt sind, weil diese an und für sich keinen Strom geben; man beobachtet alsdann rein den Strom des Electrotonus.

Ohne für jeden einzelnen Fall zur Vorherbestimmung der im Multiplicatorkreis zu gewärtigenden Wirkungen die früheren Ueberlegungen durchzumachen, findet man leicht den Erfolg stets durch folgende Regel bestimmt: *Laufen der Strom der constanten Kette in seinem und der von dem Nerven abgeleitete gleichwohl in seinem Stück in gleichem Sinn, so erleidet der ursprüngliche Nervenstrom einen Zuwachs, laufen beide in entgegengesetztem Sinn, so eine Abnahme.* Diese Erscheinungsweise des electrotonischen Zustandes an in den Multiplicator eingeschalteten Nerven hält man durch folgende, in die Nervenphysik eingeführte Ausdrücke fest. Die zwischen den Electroden der Kette befindliche Strecke des Nerven heißt die *erregte*, die in den Multiplicator eingeschaltete, die *abgeleitete*; erhält der Nervenstrom Zuwachs, so sagt man, der Nerv befinde sich in der *positiven Phase*, oder die erregende Kette sei zu dieser geschlossen, findet *Abnahme* statt, so das Umgekehrte.

Folgende Einzelheiten des Electrotonus bedürfen noch der Erwähnung. Die *Größe* desselben ist abhängig von den *Lebenseigenschaften* des Nerven, von der Länge der *erregten Strecke*, von der *Dichte* des diese durchziehenden Stromes und von der *Schiefe* der Richtung, in welcher die Electroden gegen die Längsaxe des Nerven angesetzt sind, indem er mit der Zunahme all dieser Umstände ebenfalls wächst. Ueberdies ist die Größe des Stromzuwachses im Electrotonus nicht auf allen Punkten der Länge des Nerven gleich groß, sie ist am größten in der Nähe *) der Electroden und nimmt von da an allmählich ab, jedoch nicht so, daß wenn man sich

*) oder besser *zwischen* den Electroden. Der Beweis dafür kann freilich nicht direct geliefert werden. Man findet dies *wahrscheinlich* der Theorie des Electrotonus zu Folge.

immer um gleich lange Stücke von den Electroden entfernt, auch die Abnahme in der Gröfse des Electrotonus stets um gleich viel geschieht; sondern so, dafs er auf gleiche Längen in der Nähe der Electroden mehr, als in gröfserer Entfernung von denselben und zuletzt fast gar nicht mehr abnimmt. Stellen daher, Fig. 18, die in $a\ b\ c$ u. s. w. errichteten



Senkrechten die Gröfsen des Zuwachses für die gleichen Strecken $a\ b$, $b\ c$ und die in $a'\ b'\ c'$ u. s. w. errichteten Senkrechten die Gröfsen der Abnahmen für die ebenfalls gleichen Strecken $a'\ b'$, $b'\ c'$

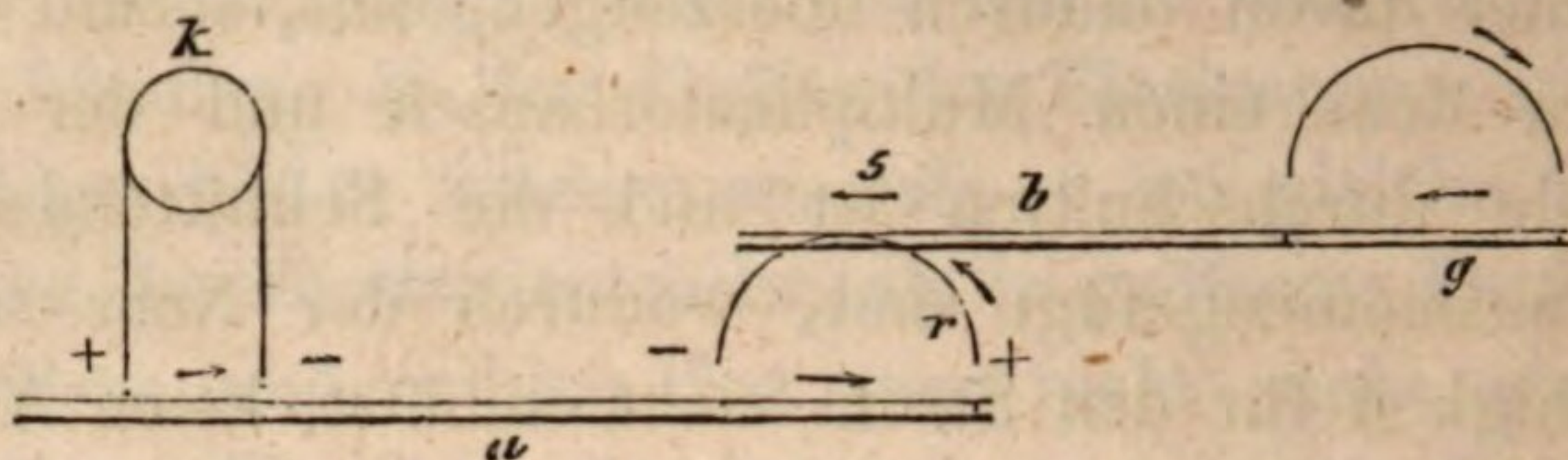
u. s. w. vor, so ist die die Enden der Senkrechten verbindende Linie die Curve, nach welcher die Gröfse des Electrotonus sich richtet *). Zu dieser Einsicht ist man dadurch gelangt, dafs man, sobald der Nervenstrom im Multiplicator abgeleitet war, mit gleichweit von einander abstehenden Electroden sich immer mehr der abgeleiteten Strecke näherte oder entfernte. An *toden* Nerven, den Muskeln und andern feuchten Leitern wird er *gar nicht* beobachtet.

Man könnte versucht sein, zu glauben, dafs die in Folge des electrotonischen Zustandes veränderte Nadelablenkung von in den Multiplicator einbrechenden Stromeschleifen der erregenden Kette herrühre. Dies ist indess nicht der Fall. Die Physiker wissen schon seit längerer Zeit, dafs wenn zwei in sich geschlossene, neben einander verlaufende Stromkreise durch einen schlechten Leiter von geringem Querschnitt mit einander verbunden werden, keine Spur von Strom aus dem einen Kreis in den andern übergeht. Direct kann man sich

*) Die Ordinaten sind von der Mitte aus auf beiden Seiten *gleich* *grofs* genommen, obgleich eine genauere Untersuchung ergeben hat, dafs eine Differenz zu Gunsten der *positiven Phase* besteht.

indess hier davon dadurch überzeugen, daß, sobald der Nerv zwischen dem einen Multiplicatorbausch und der vorderen Electrode durchschnitten ist und die Schnittenden wieder feucht zusammengefügt sind, wodurch der Nerv seine Leitungsfähigkeit für den Strom nicht einbüßt, keine Aenderung mehr in dem Stand der Nadel beim Schluß der erregenden Kette beobachtet wird. Gleichzeitig erfahren wir hierdurch, daß der Electrotonus in irgend einer nahen Beziehung zum Innervationsvorgang stehen muß, da die Fortpflanzung *beider* durch *Durchschneiden* *gehemmt* wird.

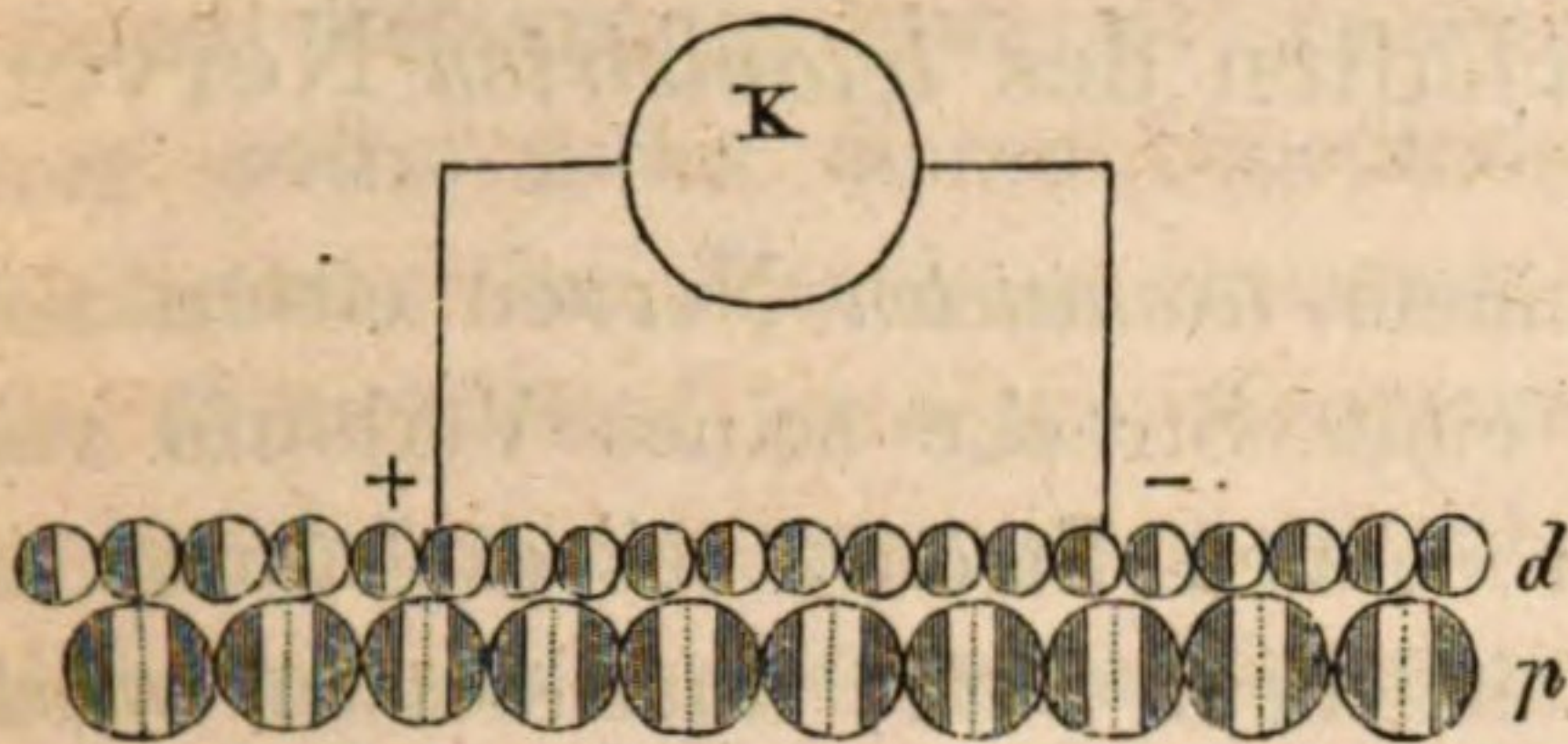
Für die Folge ist es wichtig, noch auf zwei hierher gehörige Erscheinungen aufmerksam zu machen. Die erste betrifft die Erscheinungen des electrotonischen Zustandes, wenn der Nerv gleichzeitig *zweien* constanten Strömen ausgesetzt wird. Wir betrachten hier jedoch nur den besondern Fall, wo beide erregende Ströme sich auf *einer und derselben Seite* der abgeleiteten Strecke befinden und nennen hierbei die dieser zunächst liegende erregte, die *erste*, die entfernter von ihr liegende die *zweite* erregte Strecke. Man beobachtet nun, daß bei gleicher und größerer Dichte des Stromes in der zweiten, erregten Strecke sich beide Phasen derselben durch beide Phasen der ersten erregten Strecke hindurch fortpflanzen, daß aber bei größerer Dichte des Stromes in der ersten erregten Strecke die Phasen der zweiten erregten durch jene hindurch *nicht* beobachtet werden und daß selbst nach *Oeffnung* der Kette der ersten erregten Strecke dieselben noch ausbleiben, gleich als ob der Nerv durch den stärkern Strom für die Phasen der zweiten erregten Strecke *undurchgänglich* gemacht wäre. Die zweite ist der sogenannte *secundär electrotonische Zustand*. Denkt man sich nämlich den Nerven a, Fig. 19 (siehe S. 52), durch die Kette k in electrotonischen Zustand versetzt, so werden, wenn man sich auf der ganzen Länge des Nerven überall zwei Punkte durch einen Bogen verbunden denkt, Ströme entstehen, wie der bei r. Liegt nun dem Nerven a ein zweiter b an, so bildet dieser selbst für jene zahllosen Strömchen den Schließungsbogen; sie alle aber durchziehen ihn dann in der Richtung des Pfeiles s, also in entge-



gengesetzter Richtung, in welcher der Nerv a durchzogen wird. Das Resultat der Wirkung sämtlicher Strömchen ist, daß der Nerv b *secundär* in electrotonischen Zustand verfällt. Auch ergibt sich, daß die am Ende g desselben Nerven beobachtete Phase die umgekehrte, *complementäre*, von der sein muß, als wenn er direct von dem Strome der Kette k in der bezeichneten Richtung durchzogen worden wäre.

Theorie des electrotonischen Zustandes. Um die Kräfte, welche im electrotonischen Zustand entwickelt werden, entstehen zu sehen, muß man sich die einzelnen Nervenmolekel nach dem Bilde der Volta'schen Säule angeordnet denken. Mit den Elementen einer solchen verglichene Molekeln können aber nur noch *zwei* Zonen, eine positive und eine negative, besitzen, müssen folglich *dipolar* sein. Man sagt daher, daß im electrotonischen Zustand *dipolare Nervenmolekeln säulenartig angeordnet* seien. Man findet diese Hypothese in Uebereinstimmung mit der Theorie über die Anordnung der Theilchen eines feuchten Leiters, durch welchen ein Strom zieht. Zwischen den Electroden nämlich werden sämtliche Nervenmoleküle so geordnet werden, daß sie ihre negativen Elemente der positiven und ihre positiven der negativen Electrode zukehren. Zu dem Ende aber müssen die zur Erklärung des ruhenden Nervenstromes vorausgesetzten, peripolaren Molekeln eine Zerfällung erleiden. Die einfachste Vorstellung in dieser Beziehung ist die, daß man annimmt, jede peripolare Molekel sei aus zwei mit ihren positiven Zonen aneinander stoßenden dipolaren Molekeln zusammengesetzt, in welche sie beim Schluß der Kette sich zerlege. Daß aber eine solche Zerlegung und Anordnung auch jenseits der beiden Electroden statt findet, ist zunächst eine Annahme, die zwar in der Physik keine weiteren Analogieen

hat *), welche aber auch nicht gegen die Gesetze der Anziehung leicht beweglicher, electrischer Moleküle anstößt.



Die Fig. 20 schematisirt diese Anordnung; die untere Reihe stellt die peripolaren Molekeln dar, mit deren Hilfe wir den ruhenden Nervenstrom erklären, punktirte Linien durch die Mitten

der positiven Zonen deuten ihr Bestehen aus dipolaren Molekeln an, in welche vollständig zerfallen sie durch die obere Reihe dargestellt sind. In der That nun erläutert diese Vorstellungsweise alle Erscheinungen des electrotonischen Zustandes. Sie macht verständlich: wie an beiden Enden eines in der Mitte vom Strom durchflossenen Nerven entgegengesetzte Phasen zum Vorschein kommen, was der Leser ohne weitere Erläuterung einsehen wird; wie die verschiedene Ausbildung des electrotonischen Zustandes von der Stromdichte abhängig ist, je stärker nämlich diese, desto vollständiger die Zerfällung der peripolaren Molekeln in dipolare; wie sie mit der Entfernung von den Electroden abnehme, jedes Molekül hat sein nächst nachbarliches zu richten und findet dabei in ihm einen gewissen Widerstand, so daß es dasselbe nicht so stark zu richten vermag, als es selbst gerichtet wurde; und daß er fehle, wenn der Strom *senkrecht* auf die Längsaxe des Nerven gerichtet ist, indem in diesem Fall, wie eine einfache Zeichnung ergibt, die außerhalb des Stromkreises den Electroden zunächst liegenden Theilchen unter dem Einfluß entgegengesetzter Kräfte stehen.

*) Wenn man nicht etwa dahin zählen will, daß eine verhältnißmäßig kurze, von einem Strom durchflossene Rolle, über einen langen Stab weichen Eisens gezogen, diesen bis an seine *Enden* zum Electromagneten macht.

§. 9.

Die electricischen Eigenschaften des *tetanisirten* Nerven.

Man versteht unter einem *tetanisirten* Nerven einen solchen, welcher auf irgend einer Strecke seines Verlaufs von einem fortwährend unterbrochenen Strom, sei es immer in gleichem, sei es in verschiedenem Sinn, durchflossen wird, oder welcher auch anstatt dieses, chemischen, mechanischen oder thermischen Einflüssen ausgesetzt wird. Die Bezeichnung *tetanisirter* Nerv verdankt der Thatsache ihre Entstehung, dafs ein mit einem auf die eben angegebene Art behandelten Nerven verbundener Muskel nicht eine einfache Zuckung, sondern viele, rasch auf einander folgende derselben, welche zu einer längere Zeit andauernden Contraction verschmelzen, darbietet, sich in *Tetanus* befindet. Hat man nun einen Nerven mit einem Stück in den Multiplicatorkreis eingeschaltet und wird er dann auf *electricchem* Wege tetanisirt, so hängen die Erscheinungen, welche man an dem vom Nerven abgeleiteten Strom beobachtet, wesentlich von der *Art* des Tetanisirens ab. Sind die tetanisirenden Ströme *gleich* gerichtet und wird die Unterbrechung einfach durch Oeffnen und Schliessen einer Hydrokette, ein Verfahren, welches eben nicht sonderlich geeignet ist, Ströme von *äußerst kurzer Dauer* herzustellen, hervorgebracht; so treten stets nur die *Phasen des electrotonischen Zustandes* auf, es ist gerade so, als ob der Nerv von einem constanten Strom dauernd durchzogen würde. Tetanisirt man durch gleichgerichtete, nur höchst flüchtig auftretende Ströme, wie sie sich von Magnetelectromotoren oder voltaelectricischen Inductionsvorrichtungen gewinnen lassen; so erscheinen bald beide Phasen im richtigen Sinn, die positive jedoch zumeist schwächer, bald erscheint nur eine Abnahme des abgeleiteten Nervenstromes. Wird endlich der Nerv auf die Weise tetanisirt, dafs er von *abwechselnd* gerichteten Strömen einer Hydrokette, welche man mittelst des Poggendorff'schen Inversors, einer Vorrich-

tung, welche umkehrt und zugleich unterbricht, oder eines Volta-Inductionsapparates *) herstellen kann; so gewahrt man unter *allen Umständen eine Schwächung des Nervenstromes*. Diese Erfahrung nun ist besonders beachtenswerth; denn man sollte unter diesen Umständen gar keine Wirkung oder höchstens eine Zunahme erwarten, indem man überlegt, daß die fortwährend erregten electrotonischen Zustände, als einander entgegengesetzt oder mit überwiegender positiver Phase sich aufheben oder eine Zunahme des abgeleiteten Nervenstromes müßten erscheinen lassen. Dieses unerwartete Resultat führt daher zu der Annahme, daß die Erregung des electrotonischen Zustandes durch irgend welche Stromesrichtung noch begleitet sein müsse von einem *besonderen Vorgang im Nerven*, welcher in einer *negativen Schwankung des Nervenstromes* bestehe und nur deshalb so schwer zur Anschauung zu bringen sei, weil er überall von dem sich einmischenden Electrotonus *verdeckt* werde. Man wird vollends in dieser Annahme sicher, wenn man erfährt, daß an sehr empfindlichen Multiplicatoren bei chemischer, mechanischer und thermischer Reizung des Nerven gleichfalls die genannte Beobachtung gemacht wird.

Die negative Schwankung des Nervenstromes zeigt sich gleich dem Electrotonus von mancherlei Umständen abhängig; sie nimmt zu mit der *Leistungsfähigkeit* des Nerven, der *Stromdichte*, der *Länge* der erregten Strecke und der *Neigung der Electroden* gegen die Längsaxe des Nerven. Durch Durchschneiden wird ihre Fortpflanzung gehemmt.

Vergleicht man die electrischen Eigenschaften des Muskels und des Nerven mit einander, so findet man, daß beide im ruhenden Zustand nach einem und demselben Gesetz wirken, daß auch, während sich beide im Tetanus befinden, die von ihnen abgeleiteten Ströme eine negative Schwankung erleiden. Für den Muskelstrom ist überdies erwiesen, daß diese Abnahme seiner electromotorischen Kräfte im Tetanus

*) Wie z. B. der S. 31 beschriebene.

unterbrochener Art ist. Man darf dies wegen der Identität des Gesetzes, nach welchem Muskel und Nerv ihre ruhenden Ströme entwickeln, mit grosser Wahrscheinlichkeit auch für den Nerven voraussetzen. Darin aber gehen Muskel und Nerv auseinander, dafs der letztere electrotonischen Zustand zeigt, welcher jenem allem Anschein nach *gar nicht* oder doch nur in äufserst geringem Grade zukommt.

Nervenphysiologie.

Wir sehen die Nerven von gewissen nervösen Theilen ihren Ursprung nehmen und dann in verschiedene Organe : zu den Muskeln, Drüsen, Sinnesorganen u. s. w. dringen. Es wird daher, da man voraussetzen darf, daß die Nerven für die Gewebe, zu welchen sie dringen, eine gewisse Bedeutung haben, die erste Aufgabe der Nervenphysiologie sein, daß sie die Erscheinungen des Organismus im Allgemeinen kennen lehre, welche sich als abhängig von dem Nervensystem erweisen. Nach dieser mehr vorbereitenden Auseinandersetzung muß sie dann aber vor allen Dingen diese Vorgänge, insofern sie den Nerven betreffen, weiter zu zergliedern suchen. Bei diesem Versuche wird sie sich bewußt bleiben müssen, daß hier ihre Aufgabe in eine doppelte zerfällt : darzulegen, welche Vorgänge sich in den Nerven als solchen, während die ihnen zugehörigen Organe sich in ihren Thätigkeiten befinden, vollziehen ; sodann die Kräfte und das Eigenthümliche ihrer Wirkungsweise aufzufassen, welche an die *Ursprungsstätten* der Nerven, die sogenannten *Centralorgane*, geknüpft erscheinen. Hierzu kommt dann noch die mehr practischen Bedürfnissen entsprungene Aufgabe, einzelne Nerven insofern zu betrachten, als sie gewisse Regionen des Körpers innerviren. Der Darstellung können zwar an dem einen oder anderen Orte gewisse Unannehmlichkeiten erwachsen, wenn sie diese Punkte immer scharf aus einander halten will ; doch werden sie hoffentlich von den Vortheilen überwogen werden, welche eine jede, leicht übersichtliche Anordnung des Stoffes bietet. Wir nehmen daher folgenden Gang :

- I. Darstellung der Erscheinungen des Thierkörpers, welche ganz oder zum Theil von dem Nervensystem abhängen.
- II. Untersuchung der dabei in dem Nerven stattfindenden Vorgänge.
- III. Physiologie der Centralorgane und ihrer Nerven im Einzelnen.

§. 10.

Die von dem Nervensystem abhängigen Erscheinungen des thierischen Körpers im Allgemeinen.

Vom Nervensystem erweisen sich abhängig :

1) Das ganze *psychische* Leben in all seinen verschiedenen Aeufserungen. Dies bedarf hier keines besondern Nachweises, indem zahlreiche, zur Hand liegende Thatsachen es beweisen.

2) ein grofser Theil der *Bewegungen*, nämlich die der Muskeln und zwar dergestalt, dafs jede Nervenerregung eine *gegenseitige Näherung* der Muskelmolekeln zur Folge hat. Die Physiologie, insofern sie sich vor Einseitigkeiten zu bewahren sucht, knüpft an diese alltäglichen Beobachtungen folgende zwei Fragen :

a) ob allen Muskeln die Fähigkeit sich zu verkürzen nur unter *Zuhilfenahme* der Nerven zukomme, oder ob nicht vielleicht dies Vermögen der Muskelsubstanz als *solcher* innewohne? Es kann scheinen, als ob bei Beantwortung dieser Frage die Nervenphysiologie erst anzugeben hätte, was sie unter Muskel verstanden haben wolle. Insofern sie aber nach der Abhängigkeit der Verkürzung des Muskels vom Nerven fragt, kann sie unter jenem nur eine Substanz verstehen, von welcher sie beobachtet hat, dafs sie sich bei der Reizung zu derselben sich begebender Nerven zusammenzieht. Sie kann sich also um all diejenigen Substanzen nicht kümmern, an denen man Zusammenziehungen beobachtet hat, ohne Nerven

in sie eindringen zu sehen und von diesen aus die Substanz in Thätigkeit gesetzt zu haben. Es fallen also aus dem Bereich ihrer Betrachtung für die gegenwärtige Frage aus : die Flimmerbewegung, die sogenannte contractile Substanz der niedern Thiere, die Herzanlage der Embryonen, so lange mittelst Nerven noch nicht auf die Herzsubstanz gewirkt werden kann, und ähnliche. Alle diese Fälle beweisen dem Physiologen im günstigsten Fall weiter Nichts, als dafs es im Thierkörper vom Nervensystem unabhängige Bewegungen gibt und welche er nicht leugnet. Durchgeht man nun die zum Zweck der Beantwortung unserer Frage unternommenen Untersuchungen, so findet man, dafs sie zum gröfsten Theil beweisunfähig sind. Wir führen sie indess dem Leser vor, um ihn wenigstens mit den vorhandenen Thatsachen resp. ihren Widerlegungen bekannt zu machen. Die folgenden sollen der *Unabhängigkeit* der Muskeln von den Nerven das Wort reden. α) Muskeln können unmittelbar vor ihrem gänzlichen Absterben nicht mehr von ihren Nervenstämmen aus erregt werden, wohl aber, wenn die Erregungsmittel die Muskelsubstanz selbst treffen. Diese Thatsache büfst defshalb ihre Beweiskraft ein, weil einestheils die zu machende Voraussetzung nicht widerlegt ist, dafs innerhalb der Muskelsubstanz die Nervenzweige viel langsamer absterben, als die aufser ihr liegenden Nervenstämme, anderntheils jeder Nachweis fehlt, dafs die Stärke der Erregung in beiden Fällen dieselbe bleibt. β) wenn man die Extremitätennerven an lebenden Thieren durchschneidet, so ist die Erregbarkeit der Nervenstämme oft schon nach wenigen Tagen verschwunden, während die der Muskeln oft noch Wochen lang erhalten bleibt. Begreiflicher Weise sind diese Angaben denselben Ausstellungen ausgesetzt, wie die vorherigen. γ) Die Aethernarkose liefert bei Thieren ein Stadium, in welchem die electriche Erregung des Nerven keine Wirkung hervorruft, während die unmittelbar angesprochenen Muskeln noch lebhaft zucken. Diese Beobachtung verfällt demselben Urtheil. δ) wenn gewisse Muskeln, namentlich des vegetativen Systems, so z. B. des Magens und des Darmes, direct gereizt werden, so ist die Form der Zusammenziehung in hohem Grade ab-

hängig von formellen Verhältnissen des Reizes. Streicht man nämlich mit einem Scalpellstiel über Magen- oder Darmwandung der Länge nach, oder im Kreuz, oder in Form einer andern Figur, so folgen die Zusammenziehungen ganz diesen Formen. Da aber erregte Nerven solche Zusammenziehungen nicht zu bewirken pflegen, so kann man glauben, daß eben jene Eigenthümlichkeiten bedingt seien durch die Fähigkeit der Muskelsubstanz, sich ohne Einfluß der Nerven zusammenzuziehen. Ludwig, welcher diese Thatsachen mit Wild entdeckte, hat vorsichtiger Weise diese Folgerung nicht daraus gezogen, sondern im Gegentheil darauf aufmerksam gemacht, daß ein solcher Schluss so lange unsicher ist, als man keine nähere Kenntniss von der Vertheilung der Nerven am Magen u. s. w. hat. ε) Man hat beobachtet, daß periodische Bewegungen gewisser Muskeln nach Lösung ihrer Nerven von ihrem Centralorgan noch eine Zeit lang fortbestehen können, ohne daß es bis jetzt gelungen ist, die erregenden Ursachen hierfür nachzuweisen. Hierher gehören die Bewegungen der Lymphherzen der Amphibien und die von Henle gemachte Beobachtung an den Intercostalmuskeln eines Enthaupteten. Von den erstern weiß man, daß wenn gewisse Stellen im Rückenmark (siehe §. 12, 3) zerstört, oder die zu ihnen ziehenden Nerven durchschnitten werden, jene zwar auf kurze Zeit still stehen können, doch alsbald wieder zu schlagen anfangen; aber es ist bis jetzt, trotz darauf gerichteter Bestrebungen, nicht gelungen, etwa in ihrer Substanz oder in ihrer Nachbarschaft gelegene Ganglienkugeln oder irgend eine andere Ursache als Quelle dieser Bewegungen aufzufinden. Henle beobachtete bei der Untersuchung eines kurz zuvor Enthaupteten, daß sich die mit den Rippenknorpeln abgeschnittenen und mit dem Brustbein zurückgeschlagenen Intercostalmuskeln in Intervallen von $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ Minute regelmäßig zusammenzogen *). Allein diese Thatsachen stehen so ver-

*) Henle's Zeitschrift für rationelle Medicin. Neue Folge. II. Bd., S. 302.

einzelte da und ihre Entstehungsweise ist so unklar, daß es sehr gewagt sein würde, sie zur Entscheidung unserer Frage zu benutzen, um so mehr, als, wenn dieselbe damit bejaht wird, der Rhythmus jener Erscheinungen doch noch unerklärt bleibt. §) Endlich glaubt man das Vermögen der Muskelsubstanz, sich ohne Beihilfe gereizter Nerven zusammenzuziehen, dadurch wahrscheinlich zu machen, daß man auf die beiden gemeinschaftliche Gruppierung aus electrischen Molekeln in der Ruhe sowohl als in ihrer Thätigkeit hinweist. Dieser Wahrscheinlichkeitsgrund enthält aber die Schwäche, daß doch, wie wir bereits sahen, wesentliche Unterschiede zwischen Muskel und Nerv in der genannten Beziehung existiren; überdies gibt er auch keine Rechenschaft von dem Nichtbestehen der mit Recht gezogenen Folgerung, daß jedes gereizte Nervenstück sich auch zusammenziehen müßte. Die Ansicht, daß der Muskelsubstanz als solcher die Fähigkeit, auf Reize sich zusammenzuziehen, abgehe, hat bis auf die neueste Zeit wenige Gründe und zumeist nur solche mehr allgemeineren Inhaltes beibringen können. Der hauptsächlichste derselben ist der, daß häufig bei Mißbildungen, welchen gewisse Nerven fehlen, auch die betreffenden Muskeln gänzlich mangeln oder zum mindesten doch in ihrer Entwicklung sehr zurückgeblieben sind *). Nichts desto weniger ist diese Ansicht die richtige. Der Beweis läßt sich auf folgende Weise führen. Es wird später (§. 11, b 4) dargethan werden, daß wenn man den Muskelnerven von einem sehr starken galvanischen Strom durchfließen läßt, der Nerv bei gehöriger Stärke des vorigen auf der ganzen Strecke seines Verlaufes in einen Zustand verfällt, zufolge dessen er unfähig ist, auf andere Reizmittel noch eine Zuckung im Muskel hervorzurufen. Dasselbst wird auch der Beweis geliefert werden, daß dieser Lähmungszustand dem Nerven selbst angehört und nicht etwa eine unbegreifliche

*) Man sehe den ausgezeichneten, von E. H. Weber beschriebenen Fall: Ueber die Abhängigkeit der Entstehung der animalischen Muskeln von den animalischen Nerven, erläutert durch eine von ihm und Ed. Weber untersuchte Mißbildung. Müller's Archiv 1851, S. 547.

Wirkung desselben auf die Muskelsubstanz ist, so dafs also dieselbe als vollkommen unverändert angesehen werden mufs. Wenn man nun, während sich der Nerv bis in die äufsersten Spitzen seiner Verzweigungen in dem Muskel in dem beschriebenen Zustand befindet, Reize auf die Muskelsubstanz selbst ausübt, so erhält man keine Zuckung, welche aber sofort wieder eintritt, sobald der den Nerven lähmende Strom zu fliefsen aufhört. Damit der Versuch sicher gelinge, sind folgende Bedingungen unerläfslich. Die Muskelsubstanz darf nicht *chemisch* gereizt noch auf irgend eine Weise mechanisch verletzt werden, weil dadurch die feinen Nervenverzweigungen im Muskel nicht in Zusammenhang bleiben und folglich auch vom Strom nicht gelähmt werden können. Die electriche Kette, mit welcher man den Muskel reizen will, mufs im Verhältnifs zu der, welche zur Lähmung des Nerven angewandt wird, sehr schwach sein. Endlich thut man wohl, in letzterem den Strom aufsteigend fliefsen zu lassen. Diesem Versuche gemäfs mufs man also *wenigstens der quergestreiften Muskelfaser die Fähigkeit absprechen, sich ohne Beihülfe der Nerven zusammenzuziehen.*

b) Ob die Erregung der zu den Muskeln gehenden Nerven unter allen Umständen sie zur *Zusammenziehung* veranlasse, ob es nicht vielmehr auch geschehen könne, dafs sie eine *Verlängerung* derselben zur Folge habe. Diese Frage verdankt ihr Entstehen der Beobachtung gewisser Thatsachen, welche offenbar so complicirter Art sind, dafs sich aus ihnen Nichts entnehmen läfst. Man weifs, dafs die gereizten nervi vagi *Erschlaffung* der Herzmuskulatur bewirken, aber man kann es auch bis zur Gewifsheit wahrscheinlich machen, dafs jene nicht die ächten Muskelnerven des Herzens sind, und dafs bei jener Erscheinung Ganglien ihr Spiel treiben *). Der Wille kann bis zu einem bestimmten Grade die Entstehung gewisser Bewegungen hemmen oder vorhandene unter-

*) Man sehe : Einflufs des nervus vagus auf die Herzbewegung, §. 12, A, 5.

drücken; aber hierzu bedarf es immer der Mitwirkung eines Centralorganes und es liegt aufser dem Bereich der Möglichkeit, die hierher gehörigen Thatsachen so zu zergliedern, dafs sie einsichtlich machen, was sie sollen. Endlich findet Kölliker *) zur Erklärung der Erektion des Penis die Annahme nothwendig, dafs die Muskelfasern der corpora cavernosa unter dem Einflufs ihrer Nerven erschlaffen. Aber es ist auch hier mehr als wahrscheinlich, dafs diese Erschlaffung mehr durch das Aufhören gewisser Erregungsursachen, deren Sitz vielleicht in den Ganglien zu suchen ist, als durch erregte Nerven zu Stande kommt.

3) *Die Ernährung und Absonderung.* Beide Vorgänge sind zwar nicht in ihrem ganzen Umfang vom Nervensystem abhängig, indem aufser ihm noch eine nicht geringe Anzahl anderer Factoren mitwirkt, immerhin aber von jenem noch in einer Weise, welche nicht erst durch verwickelte Folgerungen dargethan zu werden braucht, sondern sogar zum grofsen Theil dem Experiment zugänglich ist, wie die folgenden Bemerkungen darthun.

a) Bekannt sind die mannigfachen Störungen in dem Ernährungsvorgang der verschiedenen Gewebe, wenn die zu ihnen verlaufenden Nerven durchschnitten oder krankhaft verändert werden. Schneidet man bei Thieren die Extremitätennerven durch, so werden die betreffenden Muskeln nach und nach atrophisch und die Knochen verdünnen sich. Aehnliches hat man an gelähmten Gliedern von Menschen beobachtet, häufig in Verbindung mit fettiger Entartung der Muskeln. Nach Durchschneidung des nervus trigeminus bei Thieren beobachtet man Verschwärung des Auges, Auflockerung des Zahnfleisches u. s. w. Bei Menschen, welche von Anästhesie befallen waren, sah man Farbenveränderungen der Haut, Abschilferung der Epidermis, Rissigwerden der Nägel, Geschwürsbildung u. s. w. Aus all diesen Beobachtungen,

*) Verhandlungen der phys. - medicin. Gesellschaft zu Würzburg II, Nr. 8 und 9.

deren Anzahl man noch leicht vermehren könnte, geht mit Bestimmtheit hervor, daß gewisse Nerven, wenn nicht alle, so lange sie von den Centralorganen aus innervirt werden, die *Vorgänge der Ernährung leiten*. Mehr als dies karge Resultat vermag die Physiologie aus den vorhandenen Beobachtungen nicht abzuleiten. Sie ist, da hier noch die allerersten Fundamentalarbeiten fehlen, vollkommen im Unklaren darüber, ob die gestörte Ernährung nur in einem veränderten Blutlauf, in Folge der Lähmung der zu den Gefäßen gehenden Nerven, ihren Grund habe, oder ob die Substanz der Gewebe selbst unter einem solchen Einfluß der Nerven steht, daß sie nur bei einer ganz bestimmten Erregung derselben dem Blute die zu ihrer Ernährung nöthigen Bestandtheile zu entziehen vermag.

b) Was die Stellung der Nerven den Drüsenorganen gegenüber betrifft, so ist die Physiologie gerade nicht arm an Beobachtungen, welche den Einfluß jener auf diese darthun, allein nur einige wenige Fälle lassen eine so ins Einzelne gehende Zergliederung zu, daß man sich eine einigermaßen bestimmte Vorstellung über die Nervenwirkung auf ein aus so verschiedenartigen, anatomischen Elementen zusammengesetztes Organ bilden kann. Die wichtigsten unter den *That-sachen* sind folgende: Werden die zur Unterkieferdrüse des Hundes gehenden Nerven gereizt, so erfolgt vermehrte Speichelsecretion. Gleiches findet auch in der glandula parotis auf Reizung des nervus facialis statt. Nach Unterbindung der Nierennerven wird der Harn blutig. Reizt man bei Kröten das centrale Nervensystem oder einzelne cerebrospinale Nervenstämme, so bedeckt sich die ganze Haut oder einzelne Partien derselben reichlich mit dem Secret der Hautdrüsen. Besondere Aufregungen des Gehirns setzen den menschlichen Körper rasch in Schweiß; selbst die Erregung einzelner Nervenstämme soll Schwitzen in den von ihnen versorgten Hauttheilen hervorrufen, wie man bei Neuralgieen beobachtet haben will. In all diesen und ähnlichen Fällen kann man sich indess den Erfolg auf verschiedene Weise hervorgebracht denken. Folgende Anschauungen sind möglich:

α) Die Nerven begeben sich zu den Muskelfasern in den Wänden der die Drüsenelemente umspinnenden Capillargefäße, verändern die lumina der Gefäße und stellen auf diese Weise einen die Secretion befördernden Seitendruck her.

β) Sie dringen gleichwohl zu den Drüsengefäßen, ändern aber durch ihre Erregung die physikalische Beschaffenheit der Wände jener, so daß diese nun gewissen Stoffen einen mehr oder weniger schnellen Durchgang gestatten, den wir als veränderte Secretion beobachten.

γ) Sie verzweigen sich in den Drüsenelementen und ihren Ausführungsgängen angehörigen Muskelfasern, veranlassen durch ihre Thätigkeit eine Zusammenziehung derselben und damit Ausleerung des bereits gebildeten Secretes, nach welcher Vorstellungsweise dann weniger der eigentliche Hergang der *Absonderung*, als vielmehr die *Entleerung* der Drüse unter dem Nerveneinfluss stünde.

δ) Man denkt sich, insbesondere für die Fälle, für welche die microscopische Anatomie in den Drüsenelementen noch keine Muskelfasern hat nachweisen können, daß die jene zusammensetzenden Molekeln dergestalt unter die Einflüsse der Nerven gestellt sind, daß sie sich diesen in irgend einer Weise fügen und so durch eine dadurch bewirkte Veränderung der physischen Eigenschaften der absondernden Membranen Veranlassung zu einer veränderten Secretion werden. Uebrigens versteht es sich von selbst, daß für irgend eine Drüse mehre der angezogenen Möglichkeiten zugleich bestehen können.

Untersucht man nun die vorhandenen Thatsachen in der Rücksicht genauer, ob sie dieser oder jener bestimmten Vorstellung das Wort reden; so ergibt sich, daß die meisten gar nicht mit Beziehung auf eine Theorie des Einflusses der Nerven auf die Absonderung durchgearbeitet sind. Nur zwei Angaben enthalten Momente, durch welche es möglich wird, die Vorstellung zu fixiren. Die eine betrifft Ludwig's *)

*) Neue Versuche über die Beihilfe der Nerven zu der Speichelsecretion. Mittheilungen der Züricher naturforschenden Gesellschaft. 1850. Nr. 53, S. 210.

Untersuchungen an den zur Unterkieferdrüse des Hundes gehenden Nerven. Er hat nämlich, wie bereits erwähnt, gefunden, daß eine künstliche Erregung der letzteren eine erhöhte Absonderung in der erstern hervorruft, dabei sich aber durch besondere Versuche überzeugt, daß weder in dem Ausführungsgang und seinen Aesten, noch in den Drüsenbläschen, noch in dem Capillarnetz, Muskelfasern vorkommen, sowie, daß die Absonderung von den Aenderungen des Blutdruckes völlig unabhängig ist. Diesen Beobachtungen gemäß muß man also für diesen Fall die sub δ angegebene Vorstellung festhalten. Die andere Angabe ist meine Beobachtung über den Einfluß des centralen Nervensystems auf die Hautdrüsen der Kröten *). Da hier das Microscop in den Wänden der Drüsenbälge glatte Muskelfasern nachweist, überdies, wenn einmal die Drüsen entleert worden sind bei noch vollkommener Erregbarkeit der Nerven, welche daran erkannt wird, daß sich bei ihrer Reizung die Skeletmuskeln noch zusammenziehen, eine weitere Absonderung auf Nervenreizung nicht erfolgt; so ist man damit, wenigstens für das beschriebene Experiment, auf die unter γ auseinandergesetzte Ansicht verwiesen.

§. 11.

Der Innervationsvorgang **).

Wir belegen mit diesem Namen diejenigen Vorgänge, welche im *Nerven* mit Ausschuß des ihm zugehörigen Centralorgans vor sich gehen, wenn das Organ, in welches er dringt, in Thätigkeit verfällt und stellen uns jetzt die Auf-

*) Müller's Archiv 1849, S. 425.

**) Der Leser wird in diesem §. hin und wieder auf Thatsachen stoßen, deren Mittheilung gerade nicht *nothwendig* zur nähern Auffassung des Wesens des Innervationsvorganges ist. Ihre Mittheilung geschieht deshalb, weil sie in mancherlei Hinsicht für die Nervenphysiologie wichtig sind und an den betreffenden Stellen sich passende Anknüpfungspunkte für dieselben fanden.

gabe, die Natur derselben zu begreifen. Es folgt hieraus unmittelbar, dafs, so lange derselbe von uns nicht an gewissen physikalischen Eigenschaften des Nerven allein erkannt ist, sondern sein jedesmaliges Bestehen aus der Thätigkeit ihm zugehöriger Organe ersehen werden mufs, zur nähern Erforschung desselben weder ein einzelnes Nervenstück, noch ein mit einem Centralorgan verbundener Nerv verwendet werden kann, sondern dafs hierzu allein ein Nerv in Verbindung mit seinem Muskel oder höchstens einer Drüse brauchbar sein wird.

Zu allen Untersuchungen bedienen wir uns des nervus ischiadicus mit dem anhängenden musculus gastrocnemius des Frosches, indem dieses Präparat alle nur wünschenswerthen Vorthelle und Bequemlichkeiten in sich vereinigt; in der That sind auch alle in dies Gebiet einschlagenden Originaluntersuchungen an ihm angestellt worden. Es wird auf folgende Weise hergestellt. Nachdem der Frosch decapitirt, enthäutet und sein Rückenmark zerstört ist, präparirt man den nervus ischiadicus von der Kniekehle aus nach oben, indem man einfach den ihn bedeckenden musculus biceps entfernt, da, wo er aus der Beckenhöhle nach hinten heraustritt, seine an die Oberschenkelmuskeln gehenden Zweige nebst einigen ihn von da nach oben noch bedeckenden Muskeln durchschneidet und vom plexus ischiadicus trennt. Hierauf löst man die Achillessehne von ihrem Ansatzpunkt, schneidet die sehnigen Ansätze des gastrocnemius in der Gegend der Kniekehle durch und trennt schliesslich den entblösten Nerven nach oben fortschreitend von seiner Umgebung los.

Es soll nun unsere Aufgabe eine dreifache sein :

- a) das Nerv-Muskelpräparat gegenüber den auf dasselbe wirkenden Reizen zu betrachten, die Bedingungen und die Gesetze anzugeben, unter und nach welchen es durch jene in Thätigkeit verfällt;
- b) die etwaige Abhängigkeit seiner Thätigkeitsäufserungen von besonderen Zuständen, in denen es sich aufser jenen Reizen noch befindet, darzulegen und welche mitbedingend auf seine Aeufserungen wirken, um so

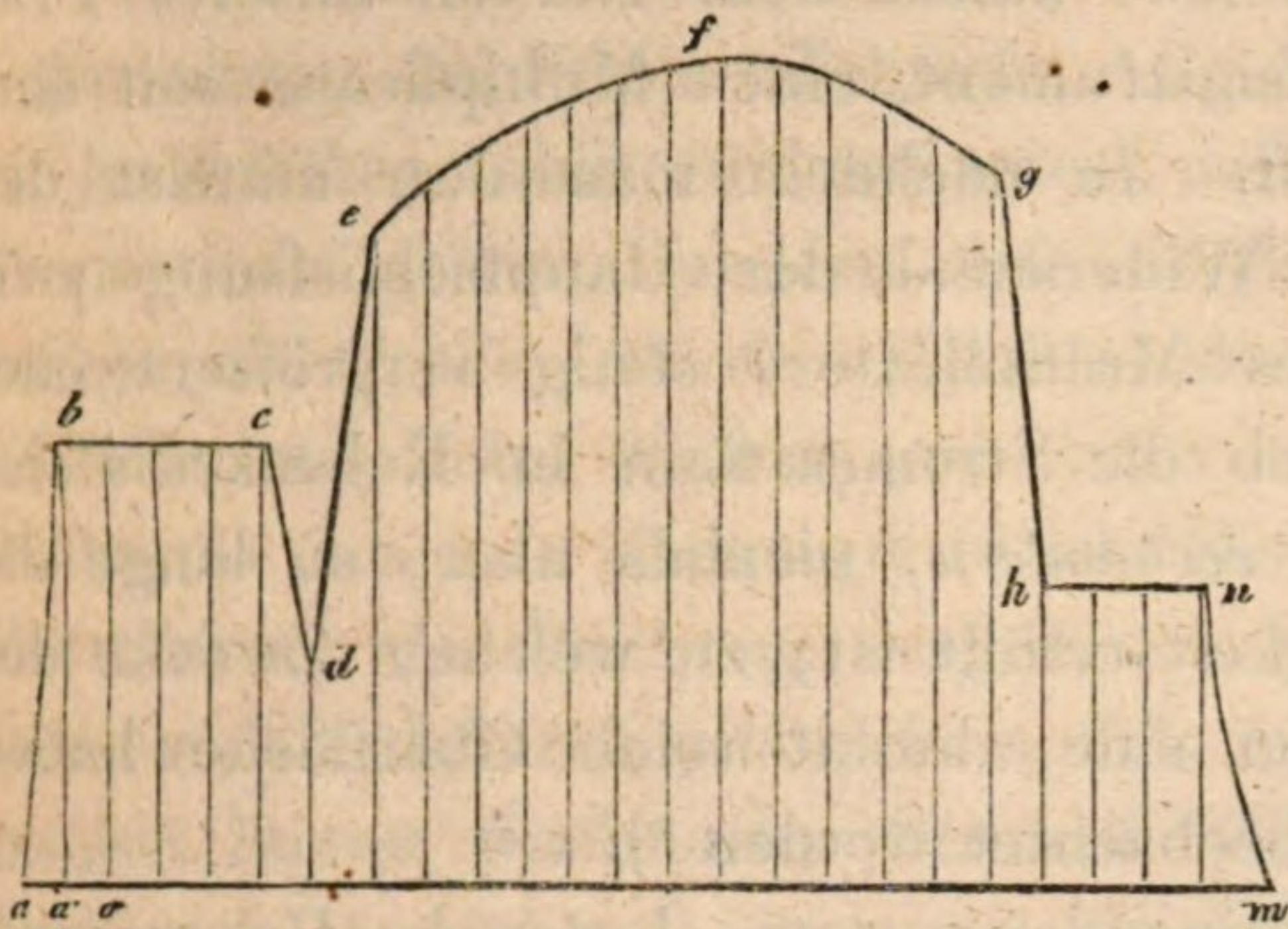
- c) aus diesen Ergebnissen in Verbindung mit den uns bereits bekannten Thatsachen der Nervenphysik zu versuchen, uns eine Vorstellung zu bilden über die Reihe der physikalischen Vorgänge, welche im gereizten Nerven vor sich gehen und von welcher die gegenseitige Näherung der Muskelmolekeln den Schluß bildet.

a) *Erscheinungen und Gesetze der Reizung.*

Electrische Reizung. Schon ziemlich frühe hatte man beobachtet, daß eine electrische Kette einen in ihren Kreis eingeschalteten Nerven nur dann erregt und den zugehörigen Muskel zur Zuckung veranlasse, wenn jene geschlossen und geöffnet werde. So lange man keine Kenntniß von der Fortdauer des Stromes in der geschlossenen Kette hatte, begnügte man sich mit dieser Beobachtung. Nachdem jedoch bekannt geworden war, daß in der geschlossenen Kette fortwährend Electricität in Bewegung sei, wollte man es sehr wahrscheinlich finden, daß auch der in der *geschlossenen* Kette befindliche Nerv erregt werden und daß namentlich auf die *Größe* der Erregung die verschiedene *Stromstärke* einen Einfluß haben müsse. Einige Beobachtungen schienen dies zu bestätigen, andere zu widerlegen. So blieb man, selbst bis in die neueste Zeit hinein, über die Beziehung der Stromstärke zur Zuckung völlig im Unklaren, bis endlich du Bois-Reymond nachwies, daß diese eine ganz unwesentliche sei, indem er das folgende, allgemeine, die electrische Reizung der motorischen Nerven betreffende Gesetz aufstellte *) : „Nicht der absolute Werth der Stromdichte **) ist das die Zuckung bedingende Moment, sondern die Größe ihrer Schwankung innerhalb zweier, auf einander folgender, sehr kleiner Zeiteinheiten, und im Allgemeinen ist die Zuckung um so stärker, je größer die Schwankung des Stromes in der Zeiteinheit ist.“

*) Dessen Untersuchungen über thierische Electricität, I, S. 258.

**) Stromdichte wird hier und fortan in dem S. 7 gegebenen Sinn genommen.



Stellen also, Fig. 20, die gleichen Abscissenstücke $a a'$, $a' a''$ u. s. w. sehr kleine, gleich grofse Zeittheilchen, etwa $\frac{1}{100}$ Secunden und die in $a a' a''$ errichteten Ordinaten die Gröfse der Stromdichte am Anfang eines jeden

der Zeittheilchen vor; so werden überall die Stellen, wo die Curve der Stromesdichten *plötzlich* steigt oder fällt, wie bei ab , cd de , gh , einer Muskelzuckung entsprechen, dagegen die Strecken, wo sie parallel mit der Abscissenaxe verläuft, oder *allmählich* steigt oder fällt, wie bei bc , efg , hn , Ruhe anzeigen. Aus diesem Gesetz folgt, dafs wenn der Nerv in eine *constante* Kette geschaltet wird, nur beim Schliessen und Oeffnen derselben der Muskel zuckt, dahingegen in vollkommener Ruhe verbleibt, während der Strom in *unveränderlicher* Dichte den Nerven durchzieht; denn Schließung der Kette ist weiter Nichts, als eine Schwankung des Stromes zwischen der Dichte Null und der von einer bestimmten Gröfse, dagegen Oeffnen derselben eine solche in entgegengesetztem Sinn; jene eine *positive*, diese eine *negative*. Will man *während* des Geschlossenseins der Kette eine Zuckung entstehen sehen, so kann dies nur dadurch geschehen, dafs man auf irgend eine Weise eine *plötzliche* Aenderung der Stromstärke herbeiführt, also z. B. durch Erschütterung stark polarisirter Electroden oder dadurch, dafs man rasch eine gut leitende Nebenschließung anbringt. Dafs in der That dies die Bedingung der Zuckung ist und letztere nicht etwa auch durch eine ganz *allmähliche* Veränderung der Stromdichte hervorgebracht werden kann, diefs läfst sich durch folgenden Versuch zeigen. Man schalte in den Schließungsbogen einer Kette einen metallischen Rheostaten ein, außerdem bringe man eine Ne-

benschließung an, welche außer dem Nerven unseres Präparates noch ein Meßinstrument, einen Multiplikator mit einfacher Nadel, enthält. Je nachdem man nun mittelst des Stromregulators den Widerstand der Hauptschließung zwischen den Enden des Multiplikators stetig vergrößert oder verkleinert, wird auch die Stromesstärke im Nebenkreis sich *stetig vermehren* oder *vermindern*, niemals aber, so lange die Bedingung der Stetigkeit erfüllt ist, zu welchem Zwecke der Draht des Rheostaten eine absolut reine Oberfläche haben muß, eine Zuckung beobachtet werden *).

Dies so eben auseinandergesetzte electrische Reizungsgesetz erleidet jedoch in einem Fall, welcher aber bei der gewöhnlichen Art, electrisch zu reizen, nicht vorkommt, eine Ausnahme; sie ist indess nur scheinbar. Wenn nämlich der Nerv von unverhältnißmäßig starken Strömen durchzogen wird, verfällt der Muskel nicht selten auch während des Geschlossenseins der Kette in Zuckungen. Nur selten erstrecken sie sich auf alle Muskelfasern gleichzeitig und haben dann sicherlich in einer Inconstanz der Kette ihren Grund, da erfahrungsmäßig unter einer zunehmenden Stromstärke die Constanz der Kette leidet. Gewöhnlich erfassen jene Zuckungen den Muskel nicht mehr in seiner Totalität, sondern nur eine mehr oder weniger große und veränderliche Anzahl seiner Bündel, auch dauern dieselben nicht selten über die Oeffnung der Kette hinaus fort. Diese leitet man mit Recht von einer raschen Zerstörung der Nervensubstanz durch die zersetzende Kraft des Stromes ab und betrachtet sie somit als die Folgen einer chemischen oder, wenn man lieber will, mechanischen Nervenreizung.

Die *Stärke* der durch electrische Reizung bewirkten Zuckung hängt nun noch von mehreren, einzelnen Umständen in folgender Weise ab :

*) du Bois-Reymond hat das Gesetz der electrischen Reizung in eine mathematische Form gekleidet; ihre Entwicklung liegt außer dem Zweck dieses Buches; wir empfehlen sie dem Leser zur nähern Kenntnissnahme. l. c. S. 259.

1) Es wurde bereits erwähnt, daß sie mit der Gröfse der Schwankung der Stromesdichte im Allgemeinen zunehme. Dies ist jetzt näher dahin zu bestimmen, daß beide nicht einander proportional gehen, sondern daß die Stärke der Zuckung in *geringerem Grade, als der Zunahme der Schwankung der Stromesdichte entspricht*, wächst und daher bald ein Maximum erreicht, so daß man alsdann die Dichtigkeitsschwankungen ohne Verstärkung der Zuckung vergrößern kann. Man kann dies unter andern dadurch nachweisen, daß man durch die Schwankungen immer wachsender Stromdichten den Muskel seinen Zuckungsvorgang auf einen mit gleichförmiger Geschwindigkeit rotirenden Cylinder graphiren läßt.

2) Die Zuckung ist bei gleicher Dichtigkeitsschwankung abhängig von der Stromesrichtung im Nerven. Es ist nämlich bei *absteigendem* *) Strom die *Schließungszuckung stärker*, als die *Oeffnungszuckung*, und umgekehrt die *Oeffnungszuckung stärker*, als die *Schließungszuckung*, wenn der Strom den Nerven *aufsteigend* durchzieht. Ist die Erregbarkeit des Präparates bereits stark gesunken, so wird im erstern Fall die Oeffnungs- im letztern die Schließungszuckung nicht selten vermisst. Bisweilen ereignet es sich jedoch, daß eine Umkehr dieses Gesetzes beobachtet wird, welche Erscheinungen alsdann mit dem Namen der Ritter'schen Anomalieen belegt werden; doch sind die Bedingungen, unter denen dies eintritt, noch ziemlich unbekannt. Man sehe über die *willkührliche* Herstellung derselben den Abschnitt über die Modificationen der Erregbarkeit durch geschlossene Ketten.

3) Nimmt die Stärke der Zuckung im Allgemeinen mit der *Länge der erregten Strecke*, ebenfalls unter Voraussetzung gleich großer Schwankungen der Stromesdichte, zu.

4) Ist sie abhängig von der *Gröfse des Winkels*, welchen die Electroden mit der Längsaxe des Nerven bilden. Man

*) Wir nennen mit du Bois den Strom *absteigend*, wenn er von dem centralen Ende des Nerven nach dem peripherischen verläuft, *aufsteigend*, wenn er den umgekehrten Weg nimmt. Diese Bezeichnung gilt auch für die sensibeln Nerven.

weißt hierüber, daß im Allgemeinen die auf die Längsaxe des Nerven senkrechte Richtung weniger günstig ist, so daß in dem Fall, wenn beide Electroden einander senkrecht gegenüber stehen, die Zuckung fehlen kann. Schon Galvani hat, um dies zu zeigen, in dieser Beziehung angerathen, in den Kreis einer Kette einen mit Wasser oder einer thierischen Flüssigkeit befeuchteten Faden einzuschalten und über diesen den Nerven in senkrechter Richtung zu legen. Doch bleiben selbst bei dieser günstigen Anordnung die Zuckungen nur bei *schwachen* Stromstärken aus; sie stellen sich bei stärkern sofort und wahrscheinlich defshalb ein, weil dann verschiedene, hinreichend starke Partialströme ein Stück des Nerven auf- oder absteigend durchfließen.

An die gegebene Darstellung des Gesetzes der electrischen Reizung schließen wir jetzt noch die ausführliche Betrachtung einiger eigenthümlicher Reizungsphänomene an, welche theils ein gewisses theoretisches, theils ein bei manchen neurologischen Untersuchungen nicht unwichtiges, practisches Interesse bieten; wir meinen nämlich die *unipolaren Inductionszuckungen* und die *secundäre Zuckung* vom Nerven aus.

Unipolare Inductionszuckungen. Es wurde oben *) erwähnt, daß, damit ein in dem Schließungsbogen einer Kette befindlicher Drahtkreis in einem nachbarlichen electrische Vertheilung errege, letzterer nicht geschlossen zu sein brauche. Der Nachweis dieser Thatsache ging von der Physiologie aus, indem du Bois-Reymond die folgenden, mit dem genannten Namen belegten Erscheinungen kennen lehrte **).

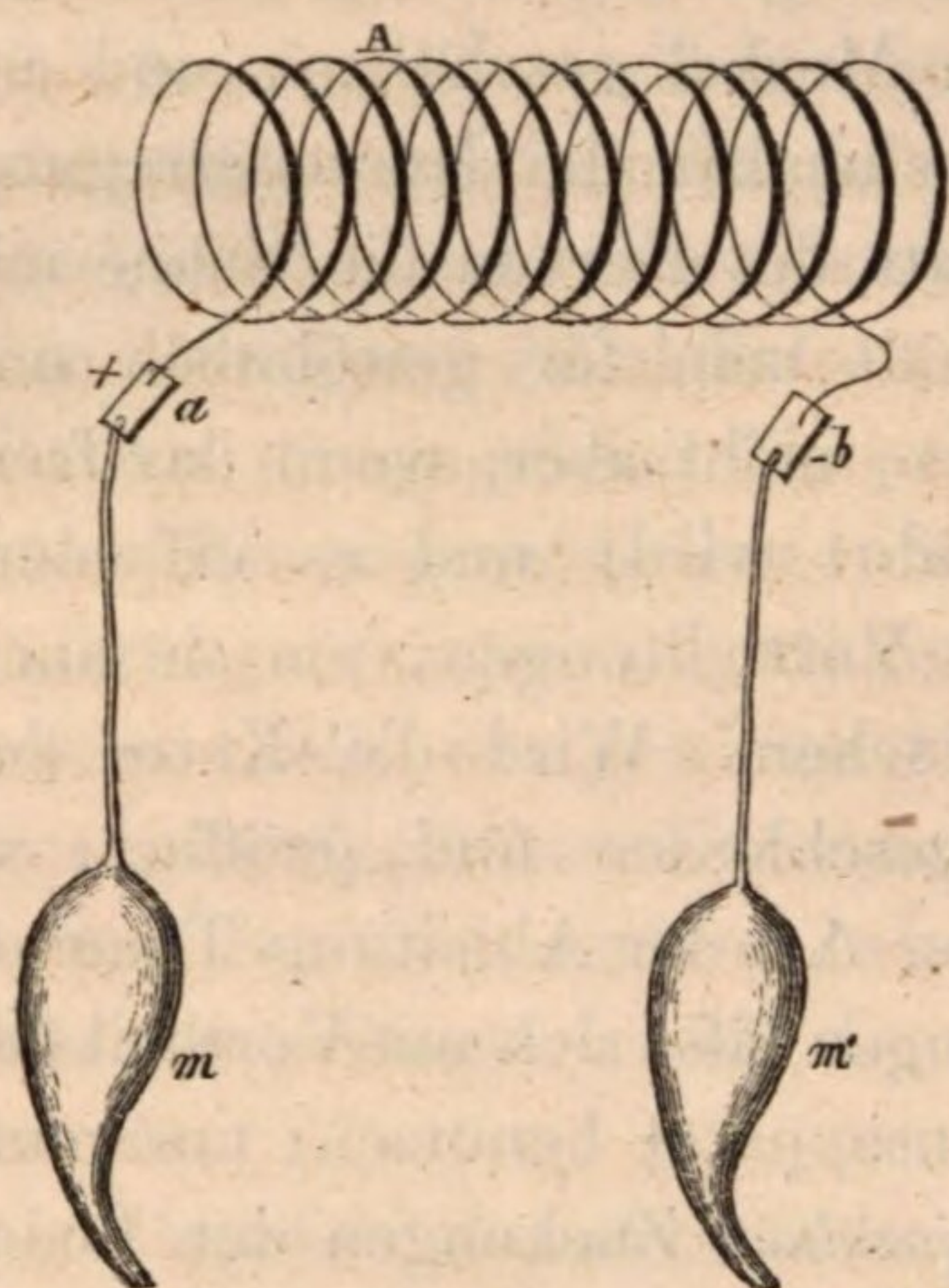
Läßt man die Enden des secundären Kreises in Platinbleche endigen und verknüpft mit einem derselben den Nerven unseres Präparates, so erhält man, nachdem sowohl der Inductionskreis als auch das Präparat mit besonderer Sorgfalt isolirt sind, bei gehöriger Stärke der Vorrichtungen, während des Schließens und Oeffnens, überhaupt bei jeder hinlänglich

*) Siehe S. 30 und 31.

**) l. c. I, S. 423.

großen Schwankung in irgend welchem Sinn der primären Kette eine Zuckung, wenn entweder der Muskel oder das freie Platinblech ableitend berührt werden. Die Zuckung fällt im Allgemeinen stärker aus, wenn der Muskel, als wenn das andere Ende des Inductionskreises berührt wird. Wird der Nerv an irgend einer Stelle unterbunden oder durchschnitten und die durchschnittenen Enden wieder feucht aneinandergelegt, so bleiben die Erscheinungen so lange dieselben, als Unterbinden oder Durchschneiden nicht allzu nahe an der Eintrittsstelle des Nerven in den Muskel geschehen, und ein unterbundener Nerv kann also scheinbar die Nervenerregung fortpflanzen. Verbindet man statt des Nerven die Sehne mit einem der Platinbleche, so erhält man für gewöhnlich nur noch Zuckungen, wenn der Nerv, nicht aber, wenn das freie Ende des Inductionskreises berührt wird; und es erfordert eine ganz besondere Stärke der Vorrichtungen, um sie auch im letztern Falle auftreten zu sehen. Wird die Kette des primären Kreises fortwährend geschlossen und geöffnet, so entsteht natürlich bei irgend einer Art der Ableitung Tetanus. Zur Darstellung dieser Erscheinungen läßt sich mit Vortheil der S. 31 u. 32 beschriebene Inductionsapparat benutzen; nur muß man für die Beobachtung der *einzelnen* Zuckungen der Feder eine feste Stellung geben, in welcher sie den inducirenden Kreis für immer schließt. Ein Theil dieser Thatsachen kann auch ohne Zuhilfenahme zweier Drahtrollen beobachtet werden. Man schalte nämlich zu diesem Zwecke in den Kreis einer guten Kette eine Drahtrolle mit sehr vielen Windungen, z. B. die secundäre Rolle des zu den vorigen Versuchen benutzten Apparates und außerdem einen Quecksilbernäpf zum Öffnen und Schließen ein. Mit letzterem verbinde man metallisch ein nach Außen hervorragendes Platinblech. Verknüpft man mit diesem den Nerven, so wird beim Schließen und Öffnen der Kette der Muskel nicht zucken. Wird derselbe aber beim *Öffnen* der Kette ableitend berührt, so tritt Zuckung ein, ebenso, wenn der Muskel aufliegt und der Nerv berührt wird, beide fehlen aber bei dieser Anordnung, wenn man das Ende des Kreises ablei-

tend berührt, mit dem man die Oeffnung ausführt. Es versteht sich von selbst, daß auch hier in allen Fällen der ganze Kreis und das Präparat sorgfältig isolirt sein müssen. Die Erklärung all dieser Erscheinungen ist folgende. In dem Augenblick, wo die Kette des primären Kreises geschlossen oder geöffnet wird, stellt der nicht geschlossene Inductionskreis eine offene Säule vor und die *Ableitung* der an den Enden befindlichen *freien* Electricität bewirkt die Zuckungen.



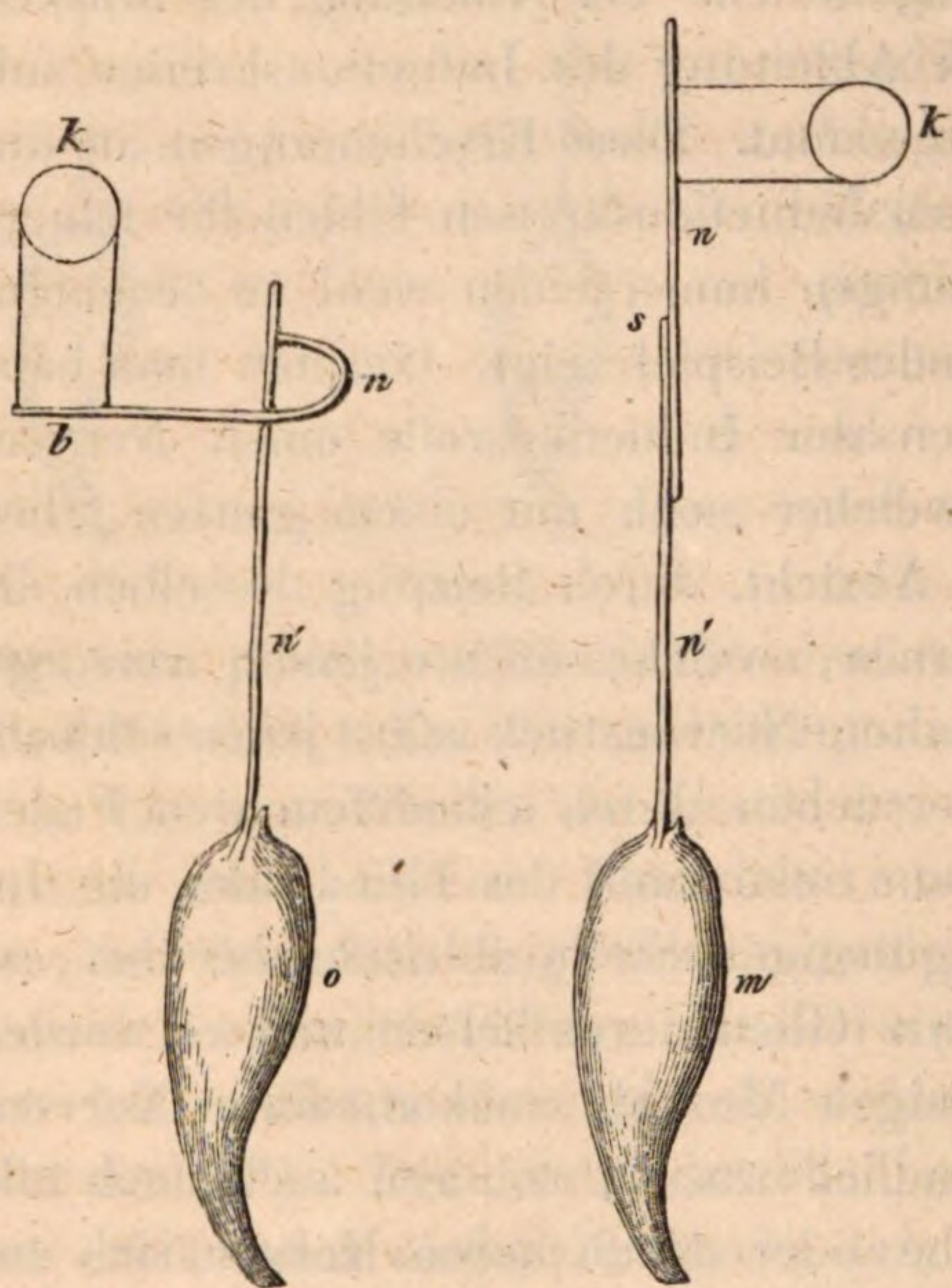
Es stelle, um den Hergang im Einzelnen einzusehen, die Rolle A, Fig. 21, einen offenen Inductionskreis dar, mit dessen Enden Nerv-Muskelpräparate verknüpft sind. Die Anordnung sei z. B. so, daß während einer beliebigen Schwankung des Stromes der primären Kette das Ende a mit freier positiver, das b mit freier negativer Electricität versehen sei. Wird jetzt das mit a verbundene Präparat ableitend berührt, so wird sein

Nerv von positiver Electricität abwärts durchflossen, und der Muskel zuckt. Da die Ableitung durch den ganzen Kreis, d. h. bis zum Muskel m' geschieht, so wird der Nerv des letztern von positiver Electricität und wahrscheinlich auch von der derselben folgenden negativen Electricität, welche man sich natürlich bis zum Muskel m' hin verbreitet zu denken hat, aufwärts durchzogen, weshalb auch hier Zuckung statt findet *). Die letzte der oben angeführten Erscheinungen erklärt sich einfach dadurch, daß hierbei die der Bildung des Extrastromes beim Oeffnen der Kette entsprechende freie Spannungselectricität durch das Präparat abgeleitet wird.

*) Weiteres über die Theorie der unipolaren Zuckungen sehe man bei du Bois I, S. 431.

Die besprochenen Erscheinungen modificiren sich nur wenig, wenn man die Versuche an durch einen schlechten Leiter d. h. *unvollkommen geschlossenen* Inductionsspiralen wiederholt. Behalten wir die früher erwähnte Inductionsrolle bei, schliessen zwischen den Platinblechen durch einen feuchten Faden und lassen diesen den Nerven an irgend einer Stelle senkrecht schneiden. Man erhält in allen Fällen Zuckungen, weil wegen der schlechten Leitungsfähigkeit des Fadens noch ein hinlänglich grosser Theil des Stromes den Nerven durchsetzt. Unterbindet man aber diesen, so erhält man nur noch Zuckungen, wenn jener oder auch der Inductionskreis passend ableitend berührt wird, zugleich der Nerv aber nicht mehr die Länge des Fadens halbt. Dies kommt daher, dass auch noch an der geschlossenen Kette freie Electricität von hoher Spannung vorhanden ist, welche bei Ableitung des Muskels ihren Weg abwärts, bei Ableitung des Inductionskreises aufwärts durch den Nerven nimmt. Diese Erscheinungen an unvollkommen geschlossenen Inductionskreisen bilden für feinere neurologische Untersuchungen immer einen wohl zu beachtenden Umstand, wie folgendes Beispiel zeigt. Gesetzt, man habe zwischen die Drahtenden der Inductionsrolle einen Nervenstamm aufgenommen, welcher noch mit einem ganzen Glied zusammenhängt, in der Absicht, durch Reizung desselben die Muskeln kennen zu lernen, welche er an jenem versorgt. Dann bildet das eingeschaltete Nervenstück selbst jenen schlechten, in den vorigen Versuchen durch einen feuchten Faden ersetzten Leiter, und wenn man dann das Glied oder die Inductionsrolle an einer günstigen Stelle ableitend berührt, so wird Electricität das *ganze* Glied durchfliessen und es werden mithin nicht allein diejenigen Muskeln zucken, deren Nervenfasern in der Kette befindlich waren, sondern auch noch alle diejenigen, durch welche oder durch deren Nerven sich zufällig jene abgeleitete Electricität noch in hinlänglicher Dichte bewegte. Es folgt hieraus für alle diejenigen Versuche, bei denen unipolare Ableitungen das Resultat trüben können, *sowohl das Präparat, als auch die ganze secundäre Strombahn sorgfältig zu isoliren*, eine Regel, welche leider sehr wenig beachtet wird.

Die secundäre Zuckung vom Nerven aus. Der Zusatz, vom Nerven aus, deutet an, dafs man diese Art der Zuckung von einer andern, nämlich der vom Muskel aus, zu unterscheiden habe. Beide beruhen auch in der That auf zwei wesentlich von einander verschiedenen Vorgängen. Während nämlich, wie die Physiologie des Muskels lehrt, die secundäre Zuckung vom Muskel aus dadurch zu Stande kommt, dafs der Nerv des secundär in Zuckungen verfallenden Muskels von dem in seiner Intensität fortwährend *schwankenden Strom des primär erregten Muskels während des Tetanus desselben* durchflossen wird, so kommt die secundäre Zuckung vom Nerven aus durch die Ströme des *Electrotonus* zu Stande. Machen wir uns indefs vorerst mit den Thatsachen selbst bekannt. Es sei n, Fig. 22, ein Stück des nervus ischiadicus, n' der eines



Nerv - Muskelpräparates und zwar letzterer, wie die Figur zeigt, an jenen so angelegt, dafs er einen Punkt des Längsschnittes und einen solchen des Querschnittes berührt. Hierauf werde das Stück b des Nerven n in eine Kette genommen; beim Schliessen und Oeffnen derselben zuckt der Muskel o. Dasselbe wird beobachtet, wenn der unmittelbar zu erregende Nerv n dem secundär zu erregenden nur eine Strecke

entlang liegt, wie in Fig. 23. Es ist ganz gleichgültig, ob das unmittelbar erregte Nervenstück einem sensibeln oder motorischen angehört. Unterbindet oder durchschneidet man den unmittelbar erregten Nerven n zwischen der vordern

Electrode und dem Punkte s, so bleiben die Zuckungen aus. Der vorher beschriebene Versuch ist offenbar identisch mit dem folgenden. Der nervus ischiadicus des Frosches theilt sich am Oberschenkel in die rr. peronaeus und tibialis. Löst man nun den ganzen Stamm vom Rückenmark, präparirt ferner den durchschnittenen ramus peronaeus von unten nach oben so weit als möglich frei, so hat man ein Präparat wie Fig. 23, von dem es sich nur unwesentlich dadurch unterscheidet, daß die beiden aneinander liegenden Nerven von Hause aus diese Lage haben und in eine feuchte Umgebung eingebettet sind. Nimmt man jetzt das freie, centrale Ende des ramus peronaeus in die Kette, so zucken alle diejenigen Muskeln, welche vom ramus tibialis ihre Fasern erhalten. Diese Form der secundären Zuckung vom Nerven aus hat man vorzugsweise *paradoxe* Zuckung genannt. Die Entstehung dieses Namens ist folgende. Man betrachtete bis zur Entdeckung dieser Erscheinungen es als einen unumstößlichen Grundsatz in der Nervenphysiologie, daß wenn ein motorischer Nerv gereizt werde, nur die Muskeln und keine andere in Zuckung verfallen sollten, deren Fasern direct von dem Reize getroffen würden, daß also die Erregung *isolirt* in jenen verbleibe und nannte ihn *das Gesetz der isolirten Leitung*. Nun zeigt sich, daß dasselbe für die electriche Reizung nicht besteht, ja sogar das Unerwartete, daß man durch Reizung eines Nerven, dessen Bahn gar nicht einmal zu Muskeln hinführt, Zuckungen hervorrufen kann. Damit die die secundäre Zuckung betreffenden Versuche sicher gelingen, muß man die Electroden nicht allzuweit von dem ersten Berührungspunkte beider Nerven ansetzen, auch als Kette sich nicht mit einem einfachen Zink-Platinbogen (wenn gleich auch unter Anwendung eines solchen bei sehr erregbaren Präparaten die Zuckungen nicht ausbleiben) begnügen, sondern 2 bis 3 Elemente nehmen.

Wir kommen zur *Erklärung* der secundären Zuckung vom Nerven aus. Vorerst ergibt sich leicht, daß der unmittelbar erregte Nerv nicht nach Art der Induction im mittelbar erregten Nerven die Nerventhätigkeit hervorruft; denn das Einschieben der dünnsten nicht leitenden Substanz, z. B. eines Glim-

merplättchens, zwischen beide Nerven verhindert das Zustandekommen der Zuckung, ein Verhalten, welches Inductionsphänomenen fremd ist. Es können daher die in Rede stehenden Erscheinungen nur dadurch zu Stande kommen, daß der mittelbar erregte Nerv direct von electrischen Strömen getroffen wird. Dies wird ferner durch die Beobachtung höchst wahrscheinlich, daß ein sehr guter Leiter, zwischen beide Nerven gebracht, die Erscheinungen ausbleiben macht, indem alsdann die etwa vorhandenen Ströme ihren Weg nicht durch den schlecht leitenden Nerven, sondern durch das viel besser leitende Metall nehmen werden. Aus der Nervenphysik wissen wir nun, daß wenn ein Nerv auf einem Theil seiner Länge direct dem Strom einer constanten Kette ausgesetzt wird, zwei von einander zu sondernde Vorgänge in der electrischen Beschaffenheit des Nerven geschehen, nämlich der *electrotonische Zustand* und die *negative Schwankung* des Nervenstromes. Von der letztern wissen wir ferner, daß ihre Gröfse im Vergleich zum electrotonischen Zustand sehr gering ist, indem es ja ganz besonderer Vorkehrungen bedurfte, um sie nur vom Electrotonus zu sondern, ja überhaupt zu entdecken. Man findet es daher *wahrscheinlich*, daß die secundäre Zuckung ihren Ursprung dem Auftreten und Verschwinden des electrotonischen Zustandes verdanke. Da ferner die Kunstgriffe, die negative Schwankung des Nervenstromes darzulegen, darin bestanden, die den Nerven treffenden Ströme so kurz als nur immer möglich andauern zu lassen; so ergiebt sich, daß nur Schließung und Oeffnung die negative Schwankung erzeugen. Nun kann man aber auch die secundäre Zuckung auf folgende Art zeigen. Man erzeugt an einem Nervenstück Electrotonus und fügt den mittelbar zu erregenden Nerven mit seinem Muskel erst *nachher* an, also zu einer Zeit, wo die negative Schwankung des unmittelbar erregten Nerven bereits vorüber ist *). Wir halten uns somit überzeugt, daß in der That *die secundäre Zuckung vom Nerven aus vom Electrotonus*

*) Am besten wählt man hierzu die Fig. 22 dargestellte Form.

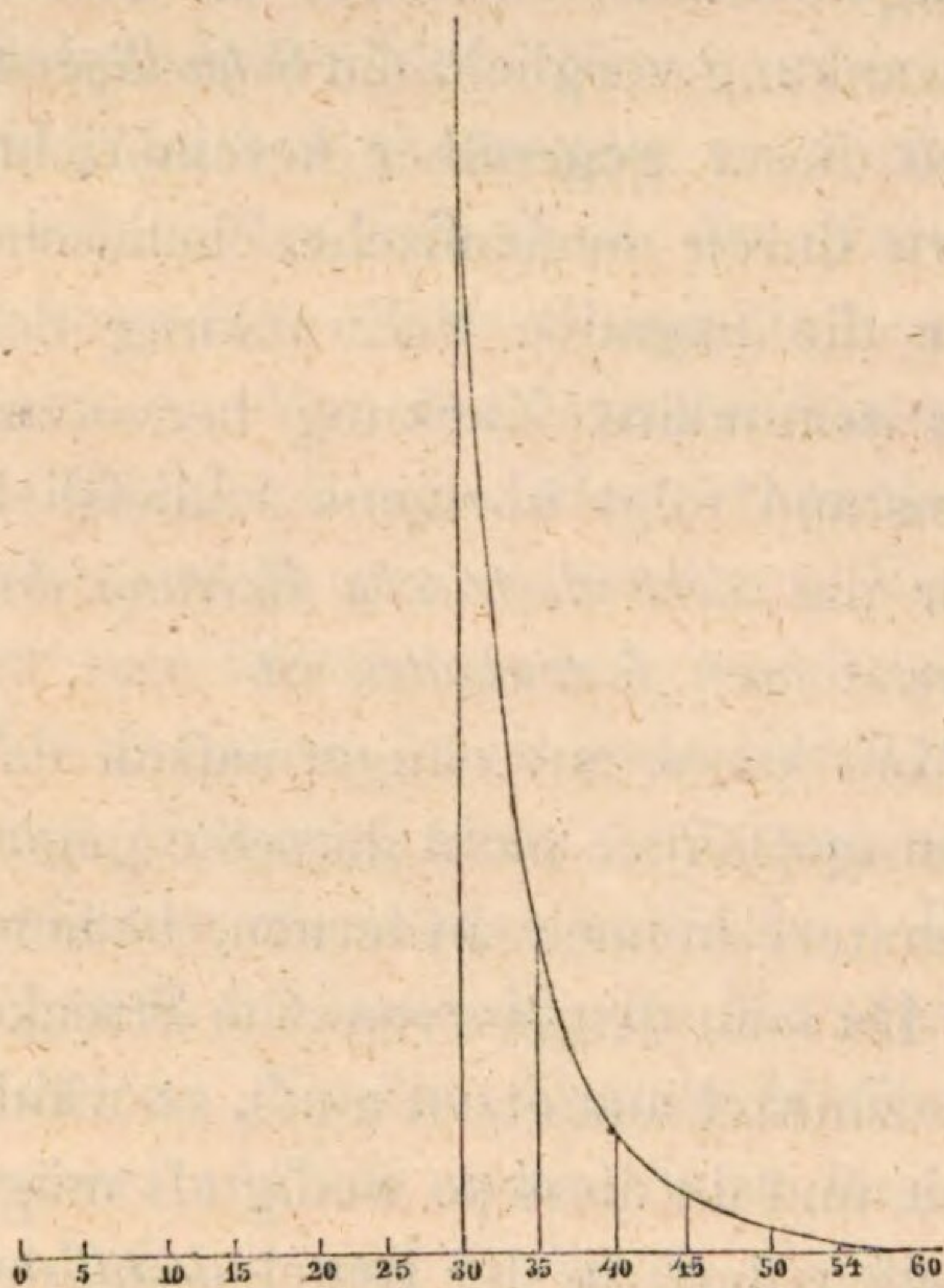
herrührt. Um den Hergang mehr im Einzelnen zu verfolgen, lese man die früheren Bemerkungen über den secundär electrotonischen Zustand nach*). Wie dort die vom Electrotonus des unmittelbar erregten Nerven herrührenden Strömchen den anliegenden Nerven in secundär electrotonischen Zustand versetzen, so auch hier; zugleich aber wird in dem Moment, wo sie sich herstellen, der Zuckungen erregende Vorgang erzeugt, und weil ein Muskel vorhanden ist, dieser zur Zuckung veranlaßt. Man findet übrigens die genannte Ansicht über den Grund der secundären Zuckung noch in Uebereinstimmung mit folgenden zwei Umständen: erstlich fällt Jedem, der nur einmal flüchtig die Erscheinungen des Electrotonus im Multiplikator mit der negativen Schwankung verglich, die *Schnelligkeit*, mit welcher jener der *Trägheit* dieser gegenüber hereinbricht, auf; sodann aber vermögen wir durch mechanische, chemische und thermische Reizung zwar die negative Schwankung des Nervenstromes, aber *niemals* secundäre Zuckung hervorzurufen. Aus dem letztern Umstand folgt übrigens schliesslich noch die Bemerkung, daß für die *nicht electriche Reizung das Gesetz der isolirten Leitung vorerst noch festzuhalten ist.*

*Thermische Reizung**).* Man kennt nur einigermaßen das Verhalten des Nerven gegen mitgetheilte, nicht dasselbe gegen strahlende Wärme. Um das erstere kennen zu lernen, bedient man sich folgender Methode. Da man den Nerven eine Strecke weit auf allen Punkten dem Reizmittel aussetzen muß, so wählt man als solche eine Flüssigkeit und da diese so wenig als möglich die Nervensubstanz angreifen darf, in der Regel *destillirtes* Wasser, weil man von diesem in Erfahrung gebracht hat, daß sich in ihm bei den gewöhnlichen Temperaturen die Nervensubstanz bis gegen $\frac{1}{2}$ Stunde und darüber lebendig erhalten kann. Besondere Sorgfalt muß auf die *Methode*, die verschiedenen Temperaturen desselben herzustellen, verwandt werden,

*) S. 51 und 52.

**) C. Eckhard, über die Einwirkung der Temperaturen des Wassers auf die motorischen Nerven des Frosches. Henle's und Pfeuffer's Zeitschrift, X, S. 165 bis 190.

da es nöthig ist, während der Dauer eines Versuchs dieselbe constant zu haben. Sie besteht darin, daß man das Wasser, welches zu Reizversuchen dienen soll, in einem Wasser- oder Oelbade erwärmt und unter all den Vorsichtsmafsregeln experimentirt, welche aus der Physik her bekannt sind *). Wenn man nun den Nerven unseres Präparates in das erwärmte Wasser eintaucht, so findet man, daß bei gewissen Temperaturen der Nerv, ohne Bewegungserscheinungen am Muskel hervorzurufen, allmählich abstirbt, während andere Zuckungen bewirken. Um das Gesetz der Einwirkung verschiedener Temperaturen genauer kennen zu lernen, tragen



wir, Fig. 24, zur Veranschaulichung auf einer horizontalen Geraden, Abscisse, durch gleiche Entfernungen die Temperaturgrade auf und errichten in diesen Punkten senkrechte Linien, Ordinaten, welche angeben, wie lange ein n. ischiadicus in dem betreffend temperirten Wasser näherungsweise seine Lebenseigenschaften behält. Natürlich ist die Gröfse der Ordinaten das Mittel aus mehreren Versuchen, zu welchen möglichst gleich erregbare Frösche zu verwenden

sind. Verbindet man dann sämtliche Endpunkte der Ordinaten, so drückt die dadurch entstehende Curve das Absterbungsgesetz bei verschiedenen Temperaturen aus. Man

*) Es ist vorgekommen, daß Manche das Wasser in einem Uhrschälchen, überhaupt in einem *kleinen* Gefäß erwärmen; abgesehen von den mannigfachen *Unsicherheiten*, welche ein solches Verfahren bietet, wird dabei die alleroberste, grobe Regel für Temperaturbestimmungen verletzt, daß nämlich das Volum der Thermometerkugel gegen das der zu untersuchenden Substanz verschwinde.

sieht nun, daß bei der Abscisse, welche der Temperatur 54° R. entspricht, oder in ihrer Nähe, die Ordinaten so klein werden, daß die Curve als mit der Abscissenaxe zusammenfallend angesehen werden kann. Dies ist dann auch der Temperaturgrad, bei welchem die Zuckungen auftreten. Ganz genau läßt sich für alle Fälle natürlich derselbe nicht bestimmen, weil der Eintritt der Zuckungen von besondern, nicht näher gekannten molekularen Eigenthümlichkeiten des Nerven und des Muskels mit bestimmt wird. Die gemachte Angabe gilt für mittlere Grade der Erregbarkeit. Wir haben daher ein Recht, uns vorzustellen, daß das Zustandekommen der Zuckung durch eine *momentane Zerstörung der Structur des Nerven* bedingt sei. Mit hin unterliegt die thermische Reizung einem ganz andern Gesetz, als die electriche. Manche Forscher haben dies bestritten *) und behauptet, es müsse auch für die thermische Reizung ein der electriche analoges, wenn nicht gleiches, festgehalten werden. Offenbar sind sie zu dieser Ansicht durch die von E. H. Weber zuerst ausgesprochene Eigenschaft der Empfindungsnerven, *Temperaturschwankungen* uns zum Bewußtsein zu bringen, verführt worden. Sie führen als Hauptgrund für ihre Ansicht an, daß bei dem *Eintauchen* des Muskelnerven in heißes Wasser eine Zuckung und ebenso eine solche bei der *Herausnahme* entstehe, entsprechend der Schließungs- und Oeffnungszuckung bei electriche Reizung, und daß man überdies *beobachten* könne, wie die *Temperaturdifferenz* einen Einfluß habe. Da indess die Methoden, nach welchen hier die Temperaturbestimmungen ausgeführt sind, vielen Tadel verdienen, so büßen die gemachten Angaben ihren Werth ein; um so mehr, als andere Versuche den Eintritt der Zuckung als unabhängig von der Temperaturdifferenz ergeben haben. Hiervon abgesehen bedenkt jene Theorie nicht, welche Folgerungen sie zugleich mitbehauptet, nämlich diese : wenn dem Eintauchen des Nerven in warmes Wasser und

*) Pickford in Henle's und Pfeuffer's Zeitschrift. Neue Folge, Bd. II, S. 335 bis 383.

der Herausnahme aus demselben jedesmal eine Zuckung folgt, wie bei dem Schliessen und Oeffnen einer Kette; so müßte, wenn ein solches Verhalten irgend einen Sinn haben sollte, gleichwie bei electrischer Reizung während des Geschlossenseins der Kette und des Fließens des Stromes in constanter Gröfse sich der Muskel in vollkommener Ruhe befindet, auch hier, während sich der Nerv *im* heißen Wasser befindet, sein Muskel ruhen, eine Folgerung, welche die Erfahrung natürlich nicht bestätigt.

Chemische Reizung *). Nicht alle Lösungen bewirken, auf den Nerven applicirt, Zuckungen. Es gibt eine Gruppe unter ihnen, deren Glieder, obgleich sie durchaus keine chemische Aehnlichkeit unter einander zeigen, doch darin übereinstimmen, daß sie *nie* Zuckungen erregen, sondern in ihnen der Nerv ganz allmählich abstirbt. Hierher gehören alle fette Oele und die Lösungen vieler Metallsalze. Eine andere Anzahl hat den entgegengesetzten Erfolg; die hierher gehörigen Stoffe unterscheiden sich aber untereinander wieder wesentlich dadurch, daß die einen: anorganische Säuren, fixe Alkalien, Alkohol u. s. w., eine oder wenige kräftige Zuckungen hervorrufen und zugleich den Nerven töden, während die andern, Salze der Alkalien, die Besonderheit haben, während einer längern Zeit, nicht selten bis gegen $\frac{1}{4}$ Stunde, die Muskelfibern in Thätigkeit zu versetzen, aber in der besondern Form, daß jene sich nicht gleichzeitig zu einer Gesamtcontraction des Muskels zusammenziehen, sondern nachzeitig und dadurch dem Muskel nur ein flimmern-des Ansehen verleihen; erst nach längerer Einwirkung verfällt derselbe in eine dauernde gleichzeitige Zusammenziehung all seiner Fibern. Immerhin aber bleibt in allen Fällen der Eintritt der Zuckungen von einem gewissen Concentrationsgrad der Lösung abhängig. Es entsteht nun auch hier wieder die Frage nach dem *Gesetz*, welchem die chemische Reizung folgt. Daß dasselbe nicht dem der electrischen analog ist,

*) C. Eckhard, die chemische Reizung der motorischen Froschnerven. Henle's u. Pfeuffer's Zeitschrift. Neue Folge, II, S. 303 bis 328.

geht aus ähnlichen Betrachtungen, wie sie bei der thermischen Reizung angeführt wurden, hervor. Da überdies bei der Anwendung der anorganischen Säuren, Alkalien, des Alkohol sich beobachten läßt, wie der Concentrationsgrad ihrer Lösung in demselben Verhältniß zu der Zeit steht, innerhalb derer der Nerv in ihnen abstirbt, wie bei der thermischen Reizung *), so kann man sich kaum der Vorstellung erwehren, daß auch hier eine momentane Structurzerstörung des Nerven die Bedingung der Zuckung sei. Die andere Gruppe der den Innervationsvorgang erregenden Agentien ist zur Erhärtung der genannten Ansicht nicht geeignet, und zwar deshalb nicht, weil mit dem Eintritt der ersten Zuckungen, welche nur die Folge weniger gereizter Fasern sind, der Nerv nicht in seiner *ganzen Dicke* abgestorben ist; doch *widersprechen* auch ihr diese Erscheinungen nicht, indem von dem Zeitpunkt an, wo sich *alle* Fibern des Muskels in dauernder Contraction befinden, das eingetauchte Nervenstück gleichfalls tod befunden wird. Wie man sich für die verschiedenen chemischen Reizmittel die Einwirkungen im Einzelnen vorzustellen habe, kann man wegen der mangelhaften Kenntniß von der chemischen Zusammensetzung der Nervensubstanz nicht angeben; doch muß es uns von vornherein möglich erscheinen, durch jede *beliebige* chemische Zerstörung der Nervensubstanz, ganz gleichgiltig, welches ihrer Elemente vorzugsweise in Angriff genommen wird, die Zuckung zu erregen. Freilich sind die Erfahrungen über diesen Punkt sehr mangelhaft; nur für ein einziges Element ist bewiesen, daß seine mit hinlänglicher Geschwindigkeit ausgeführte Entfernung aus der Nervensubstanz den Nerven erregt, nämlich für das *Wasser*. Wenn man den Nerven rasch über Schwefelsäure, oder im luftleeren Raum, oder durch Einbetten in eine wasserentziehende che-

*) Man muß übrigens, um sich hiervon zu überzeugen, Frösche von nahezu *gleicher* Erregbarkeit wählen, wozu sich solche sehr gut eignen, welche eine Zeit lang unter gleichen Umständen in Gefangenschaft gehalten wurden.

misch indifferente Substanz, wie Zucker, rasch austrocknet, so erhält man Zuckungen im Muskel. Die Uebereinstimmung der Form derselben mit der, wenn der Nerv in Lösungen der Alkalisalze getaucht wird, hat zu der Annahme geführt, daß auch hier die Zuckung durch Wasserentziehung, *auf endosmotischem Wege*, zu Stande kommen möchte. Ob in all diesen Fällen die Entziehung des Wassers die nächste Ursache der Nervenirregung ist, oder ob dieselbe erst noch andere Molekularveränderungen hervorruft, welche zur unmittelbaren Ursache jener werden, darüber läßt sich kaum eine Vermuthung aufstellen.

Gegenüber der Anschauung, daß die Ursache der Zuckung in dem schnell erfolgenden Tod einer gewissen Menge von Nervenmolekeln gesucht werden müsse, könnte sich die scheinbar andere geltend machen, daß die Ursache der Zuckung der Eintritt einer gegenseitigen Spannung oder veränderten Anordnung der Atome der einzelnen Nervenmolekel bei Application eines Reizmittels und der Tod derselben nur ein begleitender Umstand sei. Wir überlassen dem Leser, diese Vorstellung für sich durchzudenken und dann zuzusehen, wie weit er noch von der vorigen Anschauung entfernt ist. Man vergleiche übrigens die Bemerkungen unter c, S. 95.

Mechanische Reizung. Eine genauere Untersuchung über dieselbe liegt noch nicht vor. Hier würde es unter Anderem vor allen Dingen darauf ankommen, mit welcher *Geschwindigkeit* eine gewisse Menge von Nervenmolekeln zerstört werden müsse, um den Nerven noch zu erregen; indem nebenbei gewonnene Beobachtungen gezeigt haben, daß einestheils eine zu langsame, mechanische Zerstörung der Nervensubstanz sich unwirksam erweist, während andernteils eine zu schnell vorübergehende der Kräftigkeit der Zuckung Eintrag zu thun scheint. Ob es hier eine erreichbare Grenze der Schnelligkeit der Einwirkung gibt, deren Ueberschreitung die Folge haben würde, daß der Innervationsvorgang nicht stattfindet, wäre gleichfalls noch zu untersuchen.

b) *Abhängigkeit der Thätigkeitsäusserungen des Nerv-Muskelpräparates von besondern, dasselbe treffenden Einwirkungen.*

Die Stärke der Zuckung, die Zeit ihres Eintritts nach dem Eingriff des Reizes, ja selbst ihr Eintritt oder ihr Ausbleiben überhaupt, hängt noch von einer Anzahl besonderer Umstände ab. Für den folgenden Abschnitt wird es uns nützlich sein, hierauf besonders einzugehen. Jene sind nun :

1) Gewisse *molekulare Zustände* des Nerven und Muskels, welche nicht näher im Einzelnen in physikalischem Sinn angegeben werden können, und welche meist die Folge besonderer Ernährungsverhältnisse zu sein scheinen; denn im Allgemeinen hat man bemerkt, dafs je weniger kraftvoll die Thätigkeiten des Nerv-Muskelpräparates erscheinen, um so mehr die Muskeln ein livides Ansehen zeigen, schlaff und teigig sind, die Nerven ihr reines Weifs verlieren und ein mehr dunkleres Ansehen gewinnen.

2) *Temperatur*. Als besonders durch das Experiment bewiesen mufs die Einwirkung der *Temperatur* angesehen werden; denn man hat gefunden, dafs die *Fortpflanzungsgeschwindigkeit* der Nervenenerregung mit abnehmender Temperatur abnimmt *). Uebrigens ist noch zu bemerken, dafs wenn sich die Nervenenerregung durch eine erkältete Stelle hindurch fortpflanzt, die *Intensität* der Reizung nicht verringert wird, indem die Erhebungshöhen des Muskels nicht abnehmen; dafs aber alle Stadien der Muskelzuckung viel langsamer verlaufen **).

3) *Druck*. Wenn am menschlichen Körper in der Gegend gröfserer Nervenstämme ein sanfter Druck längere Zeit andauernd ausgeübt wird, so können häufig die betreffenden Glieder vorübergehend nicht mehr bewegt werden und man gibt gewöhnlich an, dafs dadurch die Muskelnerven unfähig gemacht worden seien, die Reize des Hirns zu beantworten.

*) Siehe S. 91.

**) Helmholtz in Müller's Archiv 1850, S. 361 und 1852, S. 216.

Ohne die Thatsache leugnen zu wollen, ist jedoch zu bemerken, daß in vielen Fällen nicht recht klar ist, inwieweit die Erscheinungen frei sind von den Folgen einer unbehinderten Blutzufuhr. Ich bemerke übrigens, daß ich, trotz mehrfacher, auf diesen Punkt gerichteter Versuche, bis jetzt noch keine Methode habe ausfindig machen können, ein ähnliches Experiment am bloßgelegten Froschnerven unseres Präparates mit *Erfolg anzustellen*.

4) *Durchleiten eines constanten Stromes, während der Application des Reizes* *). Die Thatsachen, welche diesen Einfluß beweisen, sind folgende. Leitet man durch irgend eine Strecke des Nerven den constanten Strom mehrerer Daniell'scher Elemente, und reizt oberhalb der genannten Stelle, sei es mechanisch, oder chemisch, oder durch die Schwankungen einer Kette, welche eine *geringere* Stromdichte liefert, als die *hemmende*, wie wir fortan jene nennen werden, so erfolgt durch alle diese Reize keine Zuckung, sie stellt sich aber sofort ein, wenn man die hemmende Kette öffnet, um mit ihrem Schluß abermals zu verschwinden. Stets aber muß der Reinheit und Eleganz des Resultates halber die Reizung so geschehen, daß man bei ihrer Ausführung den Nerven auf den Electroden der hemmenden Kette *nicht* verschiebt, weil man dadurch Schwankungen in ihrer Stromstärke und Zuckungen des Muskels bewirkt. Noch mehr; die Versuche fallen im Allgemeinen ebenso aus, wenn man die Reize *unterhalb* der hemmenden Kette anbringt, nur muß für diesen Fall der Anordnung, insbesondere für die electriche Reizung, jene eine beträchtlichere Stärke, als früher besitzen **). Eine besondere Be-

*) C. Eckhard, der galvanische Strom als Hinderniß der Muskelzuckung. Henle's und Pfeuffer's Zeitschrift für rationelle Medicin. Neue Folge, III. Bd., S. 198.

**) Darin, daß die hemmende Kette eine *größere* Anzahl von Elementen enthalten muß, wenn die reizende Kette sich *unterhalb* jener befindet, als wenn *oberhalb*, liegt der S. 61 versprochene Beweis, daß der Lähmungszustand, welchen die hemmende Kette herbeiführt, dem *Nerven* und nicht dem *Muskel* angehört.

trachtung verdienen für beide Fälle die Stromesrichtungen. Findet sich die hemmende Kette unterhalb der gereizten Stelle und reizt man *chemisch* (mit Kochsalz), so verhindert die absteigende Richtung mit mehr Sicherheit die Zuckung, oder setzt den bereits zuckenden Muskel sicherer in Ruhe, als die aufsteigende. Reizt man durch die Schwankungen einer einfachen Kette, so ist die günstigere Anordnung die, daß beide, der Strom der hemmenden und der reizenden Kette, ihre betreffenden Nervenstücke *aufwärts* durchziehen. Ist dagegen die hemmende Kette oberhalb der gereizten Stelle angebracht, und reizt man chemisch, so ist die aufsteigende Richtung die günstigere, für die electriche dagegen bleibt es die der erstern Anordnung. Zu diesen Erfahrungen über die mehr oder weniger hemmenden Wirkungen gewisser Stromesrichtungen gelangt man, wenn man die Anzahl der Elemente der hemmenden Kette nach und nach steigert und jedesmal die verschiedenen Richtungen auf ihren hemmenden Einfluß prüft.

Inwieweit diese Erfahrungen praktisch zu verwerthen sind, etwa zur Hebung der traumatischen Formen des Tetanus, kann man nicht sagen. Wegen der bessern specifischen Leitungsfähigkeit und der größern Querschnitte der Muskeln einerseits und der schlecht leitenden Knochensubstanz, welche Rückenmark und Gehirn einschließt, andererseits, ist zu befürchten, daß man weder durch die peripherischen Nerven noch durch die Centralorgane wird einen Strom hinlänglicher Dichte durchsenden können. Doch ist immerhin eine Anwendung zu versuchen und es würde schon ein großer Gewinn sein, wenn es gelänge, auf diese Weise nur ein Palliativmittel für jene dem practischen Arzte den hartnäckigsten Trotz bietende Leiden zu finden.

5) *Durchleiten eines constanten Stromes vor Anstellung der Reizversuche.* Die hierher gehörigen Erscheinungen sind unter dem Namen der *Modification der Erregbarkeit durch geschlossene Ketten* bekannt. Leitet man durch ein Stück eines Nerven längere Zeit einen Strom, so findet man hernach seine Erregbarkeit verändert. War der Strom sehr *schwach*, also etwa von einem einzigen Daniell'schen Element entnommen, und floß er

in dem Nerven aufsteigend, so beobachtet man die schon von Ritter gekannte unerklärte Thatsache, daß nämlich der Muskel nach dem Oeffnen der Kette in Zuckungen verfällt und welche um so länger anhalten, je längere Zeit der Strom eingewirkt hatte. Floß der Strom *abwärts*, so wird Nichts der Art beobachtet. Bedient man sich stärkerer Ströme, indem man etwa 4 bis 5 Daniell'sche Elemente ohne Einschaltung einer feuchten Strecke anwendet, so ergeben sich folgende Thatsachen. Hat der Strom sich eine Zeit lang im Nerven bewegt, so ist die betreffende Strecke und jede über ihr, d. h. nach dem Nervenursprung hin, gelegene für Stromesschwankungen, welche geringer sind, als die größten der verändernden Kette, vollkommen unerregbar, dagegen für diese selbst aber besteht seine Erregbarkeit noch fort, doch in gewissen Fällen in *veränderter* Weise. Ist nämlich der Strom *aufsteigend*, wobei also das Präparat, ehe es dem Strom der verändernden Kette ausgesetzt wurde, gar keine oder nur eine schwache Schließungs- dagegen eine stärkere Oeffnungszuckung gibt, so findet man, daß sich bald die Sache umkehrt und man auf diese Weise die Ritter'schen Anomalieen künstlich herstellen kann. Durch die absteigende Stromesrichtung wird keine Aenderung des Zuckungsgesetzes herbeigeführt. Läßt man den Strom noch längere Zeit einwirken, so wird endlich der Nerv auch für die größten Schwankungen der verändernden Kette selbst unerregbar, gleichgültig, welcher Stromesrichtung man sich bedient habe, wobei es dann bisweilen genügt, den Nerven eine Zeit lang in der offenen Kette liegen oder ihn nur auf kurze Zeit von der der frühern Stromesrichtung entgegengesetzten durchströmen zu lassen, um wieder ein wirksames Präparat zu erhalten. Dies gelingt aber nicht, wenn die Kette übermächtig lange geschlossen gewesen war.

c) *Versuch einer Vorstellung über das Wesen des Innervationsvorganges.*

Wir stellen uns jetzt die Aufgabe, mit Hilfe der bis hierher erworbenen Einsichten uns eine Vorstellung über das

Wesen des Vorganges der Nervenirregung und ihrer Fortpflanzung zu verschaffen. Zuvor aber, ehe wir den eigentlichen Molekularvorgang zu begreifen suchen, wird es gut sein, noch zwei so zu sagen mehr äusserliche Eigenthümlichkeiten der Nervenirregung aufzufassen, nämlich: die *Schnelligkeit* und die *Richtung*, mit und nach welcher sich dieselbe fortpflanzt.

Schnelligkeit der Fortpflanzung. Die Untersuchungen über diesen schwierigen Gegenstand verdankt man lediglich Helmholtz *). Ich halte es nicht für überflüssig, die hierbei befolgte Methode in ihren Hauptpunkten mitzutheilen, um wenigstens dem Anfänger eine Vorstellung davon zu verschaffen, wie es überhaupt *möglich* gewesen ist, den bisher so unklaren Vorgang der Nervenirregung seiner *Geschwindigkeit* nach zu messen.

Da allem Anscheine nach es sich hier um die Messung sehr kleiner Zeittheilchen handelt, muß vorerst eine Methode angegeben werden, dies auszuführen. Man hat deren mehre **). Die vorzüglichste und zugleich für unsern Zweck anwendbare besteht darin, daß man genau, während eines ganzen, kleinen, zu messenden Zeittheilchens einen galvanischen Strom durch ein Drahtgewinde leitet, neben welchem parallel mit ihm ein Magnetstab aufgehängt ist. Alsdann kann man, wenn folgende Größen: Dauer einer Schwingung des Magnetstabes = T , Ablenkung des Magnetstabes, wenn derselbe galvanische Strom, anstatt das Drahtgewinde eine sehr kurze Zeit zu durchlaufen, in diesem dauernd fließt = J , Gröfse des halben Schwingungsbogens *vor* der Einwirkung des *momentanen* Stromes = h' , die Gröfse des halben Schwingungsbogens *nach* Einwirkung des Stromes = h'' , die Winkelablenkung in dem Augenblick,

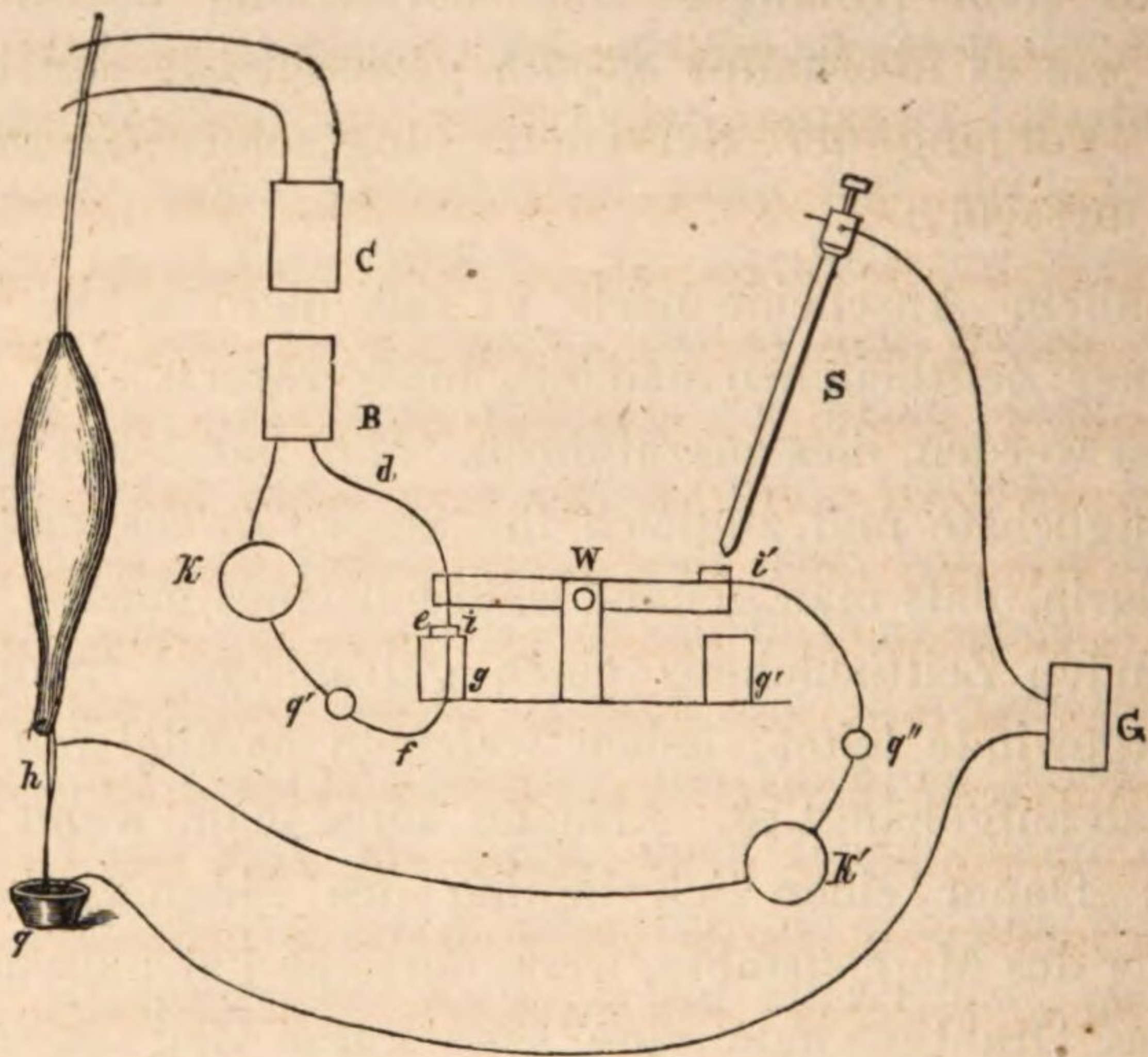
*) Ueber den zeitlichen Verlauf der Zuckung animalischer Muskeln und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den Nerven. Müller's Archiv 1850, S. 226.

**) Man findet eine Auseinandersetzung der hauptsächlichsten von Helmholtz: Königsberger naturwissenschaftliche Unterhaltungen, II. Bd., S. 169.

wenn der Strom seine Wirkung beginnt $= \alpha$, bekannt sind, nach der Formel :

$$t = \frac{T}{2\pi J} \left(\sqrt{h''^2 - \alpha^2} - \sqrt{h'^2 - \alpha^2} \right)$$

für welche die Dynamik den Beweis gibt, die Zeit t berechnen, durch welche hindurch der Strom andauert hat. Wir nennen einen solchen Strom den *zeitmessenden*. Nach dieser Vorbemerkung wird an der beistehenden schematischen Figur die Methode, die Schnelligkeit der Fortpflanzung der Nerven-erregung zu messen, klar werden. Wir haben drei electriche



Kreise. Der eine $S\ G\ q\ h\ K'\ q''\ i'$ führt den *zeitmessenden*, der andere C den *erregenden* Strom. Letzterer ist der Oeffnungsschlag, welcher durch den inducirenden Kreis B hervorgebracht wird. Diese drei Kreise können mittelst einer Wippe, welche schematisch bei W angedeutet ist, in folgende zeitliche Beziehung zu einander gesetzt werden. Setzt man den metallischen Schließungsstab S , welcher mit dem einen Pol der Kette K' verbunden ist, auf das Metallplättchen i' , welches über q'' zu dem andern Pol derselben Kette führt, so schließt man damit den zeitmessenden Strom und macht die denselben betreffenden Beobachtungen an dem in seinem Kreis befind-

lichen Galvanometer G. Durch diese Schließung mittelst der Wippe öffnet man den inducirenden Kreis B, indem man die Stahlspitze e, welche mit dem zu einem Pol der Kette K führenden Draht d in Verbindung steht, von dem Metallplättchen i, welches durch f mit dem andern Pol verbunden ist, abhebt. Gleichzeitig damit aber durchfährt der Oeffnungsstrom der Inductionsrolle C den Nerven des Muskels. Der zeitmessende Strom bleibt nun aber so lange geschlossen, bis er durch die Zusammenziehung des Muskels geöffnet wird, indem derselbe die Spitze des an seiner Sehne angebrachten Häckchens h, welches in der Stromleitung des zeitmessenden Stromes angebracht ist, von der Oberfläche des Quecksilbers q abhebt. Aus den nöthigen Beobachtungen läßt sich nun nach der obigen Formel die Dauer des Geschlosseneins des zeitmessenden Stromes, d. h. die Zeit finden, welche vom Augenblick der Reizung an bis zur Erhebung der Spitze aus dem Quecksilber, mithin diejenige, während welcher sich die Nerven-erregung durch den Nerven bis zum Ende des Muskels fortpflanzt, verfließt. Bringt man nun in einem zweiten, genau ebenso anzustellenden Versuche die erregende Kette nahe an der Eintrittsstelle des Nerven in den Muskel an, so erhält man eine analoge Zeitangabe. Die Differenz der durch beide Versuche gefundenen Zeiten gibt die Zeit an, welche die Nerven-erregung gebraucht hat, um sich durch das *gemessene* Nervenstück, welches sich zwischen den für beide Versuche gewählten Erregungsstellen befindet, fortzupflanzen. Viele an dem Hüftnerve des Frosches angestellte Versuche ergaben im Mittel *27 Meter für die Secunde* bei einer Temperatur zwischen 11 bis 21° C. Mit der *Abnahme* der Temperatur *vermindert* sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in hohem Maße, so daß sie bei einer Temperatur von Null leicht bis zur zehnfach geringern werden kann. Hierin hat es dann auch wohl hauptsächlich seinen Grund, daß man sie beim Menschen, nach einer andern Methode, größer, etwa 61 Meter in der Secunde, gefunden hat.

Richtungen, nach welchen hin sich der Innervationsvorgang fortpflanzt. Die einfache Thatsache, daß ein zu einem Muskel

gehender Nerv, wenn er gereizt wird, nur Zuckung erregt, aber keine Empfindung auslöst und umgekehrt, wenn es sich um einen sensibeln Nerven handelt, hat zur Unterscheidung der Nerven in *centrifugal* und *centripetal* leitende Veranlassung gegeben. So lange hiermit weiter Nichts, als das eben angegebene Factum kurz bezeichnet werden soll, ist Nichts dagegen einzuwenden; wenn aber zugleich damit ausgesprochen werden soll, daß der dabei im *Nerven stattfindende Vorgang* nur nach der Seite des Prüfungsorganes, also das eine mal nach dem Muskel, das andere mal nach dem Hirn hin, erregt werde; so bedarf jener Satz, *bekannt als die Lehre von der einseitigen Leitungsfähigkeit der Nervenfasern*, doch einer besondern Prüfung. Erinnern wir uns behufs derselben noch einmal an die Thatsachen des Electrotonus und der negativen Schwankung des Nervenstromes einerseits und an das Verhalten des motorischen Nerven gegenüber der electricischen Reizung andererseits; so liegen folgende Beziehungen klar vor. Da der Muskel nur zuckt, wenn eine constante Kette durch seinen Nerven geschlossen oder geöffnet wird, sich vollkommen ruhig während des Geschlossenseins derselben verhält; dagegen der Electrotonus beim Schließen der Kette sich herstellt, bei ihrem Öffnen verschwindet und während des Geschlossenseins in beständiger Gröfse verharret; so hat der electrotonische Zustand für die electricischen Reizungsphänomene die Bedeutung, daß sein Eintritt und sein Verschwinden, oder allgemein, eine plötzliche Aenderung seiner Gröfse, stets mit dem Auftreten der Zuckung parallel gehen. Ferner sind wir durch die Thatsachen der Nervenphysik (S. 54) zu der Ansicht geführt worden, daß *während jeder Schwankung* des den Nerven durchziehenden Stromes ein vom electrotonischen Zustand verschiedener Vorgang im Nerven, nämlich eine Abnahme der electromotorischen Kräfte, welche sich als *negative Schwankung* des abgeleiteten Nervenstromes kund gibt, vor sich gehe. Mithin sind wir, in Erinnerung an das electricische Reizungsgesetz, berechtigt, *die negative Schwankung des Nervenstromes als den Ausdruck des Zuckungen erregenden Vorganges selber anzusehen*. In der Richtigkeit dieser Folgerungen werden wir

überdies noch durch die gleichfalls uns schon bekannte Thatsache bestärkt, daß *Unterbindung* des Nerven die *Fortpflanzung* des Electrotonus, der negativen Schwankung und des Innervationsvorganges in gleicher Weise hemmt. Dem experimentirenden Physiologen steht daher das Recht zu, die Nervenerrregung stets bis zu all denjenigen Stellen des Nerven vorgeschritten zu betrachten, an welchen er noch Electrotonus und negative Schwankung nachweist. Schaltet man nun in den Multiplicator ein Nervenstück ein, so kann man sich, gleichgiltig, ob jenes einem motorischen oder sensibeln Nerven entnommen ist, immer überzeugen, daß *Electrotonus und negative Schwankung in jedem Nerven sich nach beiden Richtungen hin und zwar mit gleicher Leichtigkeit fortpflanzen*. Wir müssen daher die *Lehre von der einsinnigen Leitung der Nervenfasern nicht nur als unerwiesen, sondern sogar als unrichtig ansehen*. Die wenigen Beweise gegen letztere Ansicht sind ziemlich kraftlos. Der Einwand, daß jeder Muskelnerv uns dann auch von den geringfügigsten, innern Zuständen des Muskels unterrichten müsse, verliert durch die berechtigte Annahme seine Giltigkeit, daß für gewöhnlich die Muskelnerven nicht mit den empfindenden Hirnstellen unserer Sinnesnerven verknüpft seien.

Suchen wir jetzt nun in den Molekularvorgang der Nervenerrregung und ihrer Fortpflanzung selbst einzudringen. Früher stellte man sich diesen Vorgang unter dem Bilde eines fließenden Fluidums vor und hielt dies entweder gleich oder doch sehr ähnlich mit Electricität. Daß dieselbe hier nun nicht in der Form, in welcher sie den Schließungsbogen einer galvanischen Kette durchfließt, vorkommt, versteht sich ganz von selbst, indem Unterbindung des Nerven die Fortpflanzung der Nervenerrregung aufhebt, den Nerven selbst aber dadurch nicht zu einem Nichtleiter der Electricität macht. Daß aber überhaupt der Innervationsvorgang das Resultat electrischer Wirkungen sein möge, dies zu schließen liegt sehr nahe; denn wir wissen, daß die Nervenmolekeln in eigenthümlicher Weise mit electrischen Kräften behaftet sind, daß die Anordnung derselben während der *Erregung* des Nerven geändert wird, daß diese selbst am wirksamsten durch

electrische Einwirkungen hervorgerufen wird, daß die electrischen Kräfte im Nerven durch den galvanischen Strom auf längere Zeit in eine Anordnung gebracht werden können, welche für gewöhnlich dem Nerven fremd ist u. s. w. Es handelt sich daher jetzt nur noch darum, in welcher Weise man sich die electrischen Molekeln wirksam denken soll, daß dadurch der Act der Fortpflanzung der Nervenenerregung begreiflich wird. Auf die zu bildende Vorstellung sind wir bereits durch zwei Umstände hingewiesen: durch die Theorie des electrotonischen Zustandes und die geringe Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Nervenenerregung. Es ist nämlich aus der Physik bekannt, daß das Wesen aller derjenigen Vorgänge, welche sich mit endlicher, nicht sehr großer Geschwindigkeit fortpflanzen, darin besteht, daß ein durch irgend welchen Umstand bewegtes Molekül die erhaltene Bewegung auf das nächst nachbarliche durch einen materiellen Stofs überträgt und daß dieses auf gleiche Weise das folgende und so fort zu einer Bewegung veranlaßt, wie es also z. B. bei der Fortpflanzung der Wasser- und Luftwellen der Fall ist. Ueberdies sahen wir in der Theorie des electrotonischen Zustandes, und dies ist wichtig, anzumerken, weil sein Eintritt mit Muskelzuckung verbunden ist, wie dieser nur durch die Annahme verständlich werde, daß in ihm die einzelnen Molekeln eine andere Anordnung als im nicht gereizten Nerven haben und daß diese dadurch zu Stande komme, daß eine jede Molekel durch die vor ihr liegende in Folge der gegenseitigen Einwirkung der electrischen Kräfte beider bewegt werde. Hiernach also hat man ein Recht, sich vorzustellen, *daß die Nervenenerregung und ihre Fortpflanzung in der einer gewissen Summe von Nervenmolekeln ertheilten Bewegung und in der Mittheilung derselben auf ihre nächst nachbarlichen und zwar in Folge der electrischen Fernwirkungen, welche die Nervenmolekeln auf einander ausüben müssen, bestehe.* Dies anschaulich zu machen, hat du Bois-Reymond folgendes schöne Bild ersonnen. Er sagt: Man denke sich eine Anzahl Magnetnadeln in eine Reihe hinter einander aufgestellt; sie repräsentirt den Nerven und seine Zusammensetzung aus mit electrischen Gegensätzen

behafteten Molekeln. Dreht man jetzt irgend eine der Nadeln, z. B. die mittlere, so wird der Erfolg der sein, daß sich, in Folge der magnetischen Fernwirkungen, welche die Nadeln auf einander ausüben, nach beiden Seiten von jener Nadel hin ein Bewegungsvorgang fortpflanzt, welcher nach und nach alle Nadeln ergreift. Wir machen nun noch darauf aufmerksam, wie einzelne Reizungsphänomene in gutem Einklang mit dieser Lehre stehen. Erstlich wird es uns verständlicher, wie der Innervationsvorgang nur durch *Schwankungen* in der Stromdichte rege gemacht wird; denn es ist uns begreiflich, daß nur unter diesen Umständen eine plötzliche Aenderung der Stellung der Nervenmolekel statt finden kann und daß während des constanten Stromes selbst die Molekeln ihre angenommenen Stellungen beibehalten. Sodann aber ist damit in Uebereinstimmung die S. 86 beschriebene Thatsache, daß der constante galvanische Strom jeden andern Reiz unwirksam machen könne, wenn wir damit die Vorstellung verbinden, daß jener Strom in dem Electrotonus, welchen er erzeugt, die Nervenmolekeln in ihrer neuen Anordnung festhält, daß sie anderen Anregungen zur Bewegung keine Folge leisten können.

So ist zwar über die *Fortpflanzung* der Nervenirregung eine befriedigende Vorstellung gewonnen, allein es handelt sich noch um mehr, um die Einsicht nämlich, wie all die *verschiedenartigen* Reize einer gewissen Gruppe von Nervenmolekeln die *erste Bewegung* einprägen können. Für die electriche Reizung ergibt sich diese Einsicht leicht aus der Theorie der Anordnung der Theilchen des Nerven, wenn ein Strom ihn durchläuft, wie in der Lehre vom Electrotonus gezeigt worden ist. Für die andern Arten der Reizung dagegen muß man sich mit folgender allgemeinen Vorstellung noch vorerst behelfen. Man muß sich nämlich erinnern, daß die Stellung irgend einer ins Auge gefaßten Nervenmolekel abhängig zu denken ist von den electricen Eigenschaften aller ihrer Nachbarn, insoweit sie in der Wirkungssphäre einer jeden derselben liegt. Wenn nun ein mechanischer, thermischer oder chemischer Reiz eine gewisse Menge der Nervenmoleküle zerstört, also ihre ursprünglichen Eigenschaften ver-

nichtet, so verlieren sie damit natürlich auch ihre früheren Einwirkungen auf alle die in ihren Wirkungssphären liegenden Molekeln und die Folge davon wird sein, daß die letztern neue Stellungen einnehmen, wie sie den jetzt auf sie wirkenden electricischen Kräften entsprechen. Die hierzu nothwendigen Bewegungen müssen sich dann durch die ganze Länge des Nerven fortpflanzen und werden bei hinreichender Stärke den Muskel zur Zuckung veranlassen *). Dennoch darf man die Untersuchungen über die Molekularconstitution des Nerven noch nicht als abgeschlossen betrachten; eine Menge einzelner Erscheinungen ist noch vollkommen unerklärt, wozu vor allen Dingen die mannigfachen Aenderungen der Erregbarkeit durch geschlossene Ketten gehören.

Noch gebricht es uns aber zur Zeit an jeder Kenntnifs derjenigen Seiten dieses Molekularvorganges, wodurch die gegenseitige Näherung der Muskelmoleküle oder die entsprechenden Thätigkeiten der andern Prüfungsorgane zu Stande kommen. Man weiß nicht, ob die veränderte electricische Beschaffenheit der Nervenmoleküle im Innern des Muskels nach bekannten Gesetzen electricischer Wirkungen auf die electricischen Muskelmolekeln *unmittelbar* wirke und wie man sich dies im Einzelnen vorzustellen habe, oder ob zwischen beide Glieder noch ein drittes unbekanntes eingeschoben ist. Man darf aus der Thatsache, daß ein abgeschnittener, lebendiger und gereizter Nerv, an einen lebendigen Muskel gelegt, diesen nicht bewegt, die erste der angezogenen Möglichkeiten nicht negiren wollen; denn in diesem Fall fehlen die unendlich vielen Berührungspunkte der Nerven- und Muskelsubstanz, wie sie sich in einem wirksamen Nerv-Muskelpräparate vorfinden und welches als nothwendig durch die mannigfachen Theilungen der Nervenprimitivröhren angedeutet zu werden scheint **).

*) Diese Vorstellung macht natürlich keinen Anspruch als auf eine bewiesene, sondern nur als auf eine solche, welche in Uebereinstimmung mit der vorher entwickelten Ansicht über das Wesen des Innervationsvorganges ist.

**) Ob und inwieweit diese an den motorischen Nerven entwickelte Vorstellung über das Wesen des Innervationsvorganges auch für die sensibeln Nerven festzuhalten sei, dies wird §. 12, A. näher erörtert werden.



§. 12.

Physiologie der Centralorgane und ihrer einzelnen Nerven.

Achten wir zunächst darauf, worin die wesentliche Bedeutung eines Centralorgans ruht. Die Erfahrung lehrt, daß ein solches einestheils der Sitz einer gewissen Summe von Bewegungen im thierischen Körper ist, dergestalt, daß es diese entweder selbstbewußt, *willkürlich*, oder in Folge äußerer Reize, *reflectorisch*, oder endlich deshalb, weil der Antrieb dazu perpetuel in ihm vorhanden ist, *automatisch*, erregt; andernteils auf Einwirkung äußerer Reize in eigenthümliche Zustände verfällt, welche entweder auf es selbst beschränkt bleiben, oder die Anregung zu neuen Bewegungen werden. Je nach der Vollkommenheit des betreffenden Centralorgans werden an ihm sämtliche der eben genannten Eigenschaften oder zum mindesten doch eine derselben wahrgenommen.

A. *Das Gehirn und seine Nerven.*

Häufig pflegt man bei einer Physiologie des Gehirns die Bewegungen zu beschreiben und zu erklären, welche an ihm in Folge der mechanischen Verhältnisse des Kreislaufs und des Athmens auftreten; sie sind aber keine Thätigkeitsäußerungen der Hirnmasse selbst und gehören deshalb nicht hierher. Fassen wir die ächten zusammen, so zerfallen sie in *psychische* und in solche, auf welche zwar das psychische Leben Einfluß haben kann, deren Ursachen aber unabhängig von diesem bestehen und auch dann gerade am reinsten zur Erscheinung kommen, wenn jenem diese Einwirkung versagt ist. Wir beginnen mit den letztern, weil sie am meisten dem Experiment zugänglich sind. Sie sind theils *automatische*, theils *reflectorische*.

1) *Automatische Erregungen des Gehirns.* Der selbst erregenden Stellen gibt es im Gehirn sehr wenige, welche überdies noch von sehr geringer Ausdehnung sind. Sie gehören

sämmtlich dem verlängerten Mark an. Die erste steht den *Athembewegungen* vor. Sie wurde schon von Legallois aufgefunden, in neuerer Zeit von Flourens *) ihrer Lage nach etwas genauer bestimmt. Nach Letzterem geht ihre vordere oder obere Grenze über das foramen coecum, ihre hintere oder untere über die Verbindungsstelle der hintern Pyramiden, so daß sie, von kaum einer Linie Ausdehnung, sich hauptsächlich in der Spitze der grauen Masse des calamus scriptorius befindet. Mit ihrer Zerstörung cessiren sofort die Athembewegungen und das Leben erlischt. Diese Bedeutung der medulla oblongata ist durch zahlreiche Experimente an Thieren und pathologische Fälle beim Menschen hinreichend erwiesen. Die zweite erregt die *Schluckbewegungen*, liegt ebenfalls im verlängerten Mark, läßt sich aber nicht genauer angeben **). Nicht alle Schluckbewegungen kommen auf automatischem Wege zu Stande, indem ein Theil derselben sich als willkürlich, ein anderer als reflectorisch erweist; nur diejenigen, welche bei narkotisirten Thieren ohne Veranlassung irgend welches Reizes an der bloßgelegten Speiseröhre beobachtet werden, sind als ächt automatische anzusehen. Eine dritte automatische Erregungsstelle des Hirns steht in einer eigenthümlichen Beziehung zur Secretion. Bernard hat nämlich gefunden, daß nach Reizung des vierten Ventrikels *Zucker* im Harn erscheint. Die bedeutsame Stelle scheint mehr nach vorn zu liegen, als Flourens' Lebensknoten und nicht genau die Mittellinie einzuhalten. So unerklärt bis jetzt noch diese Erscheinung ist ***), kann man doch wohl unbedenklich jener Stelle des verlängerten Markes in der Beziehung eine Selbst-

*) Détermination du point vital de la moëlle allongée. Gaz. méd. de Paris. 1851. Nr. 45, S. 694.

**) Wild in Henle's und Pfeuffer's Zeitschrift für rationelle Medicin. Bd. V. 1846, S. 92.

***) Kurz nach der genannten Entdeckung kam man auf den Gedanken, es möchte wohl die Erscheinung von einer Abnahme des Athemprocesses herrühren; man verzögerte daher diesen durch Vagussection, allein es fand sich im Harn kein Zucker.

erregung zuschreiben, daß sie auf irgend eine Weise das Erscheinen des Zuckers im Harn hindert. Es ist wahrscheinlich, aber noch nicht bewiesen, daß außer den genannten noch andere selbst erregende Stellen im Gehirn vorkommen, welche vielleicht einen Theil der Secretion der Thränen, des Speichels und der Bewegung der Augenlieder unbewußt leiten. Sie alle aber sind vom Willen, leidenschaftlichen Aufregungen und äußern Reizen in hohem Grade abhängig.

2) *Reflectorische Erscheinungen des Gehirns.* Ehe wir die reflectorischen Erscheinungen des Gehirns im Einzelnen betrachten, wird es gut sein einige Mittheilungen über :

Reflexerscheinungen im Allgemeinen zu machen. Man versteht darunter solche, welche dadurch zu Stande kommen, daß die Erregungszustände irgend welcher Nervenfasern mit Hilfe eines dem Willen entzogenen Centralorganes auf andere übertragen werden und unterscheidet je nach der Natur der dabei betheiligten Faserklassen : *Reflexbewegungen, Mitbewegungen, Reflexempfindungen* und *Mitempfindungen*.

Reflexbewegungen. Man versteht unter diesen solche Bewegungen, welche unter *Mitwirkung eines willenlosen Centralorgans auf Reizung sensibler* *) *Nerven zu Stande kommen.* Sie müssen daher sorgfältig von den willkührlichen sowohl als auch von den reinen Reizbewegungen unterschieden werden. So lange das Hirn eines thierischen Körpers noch functionirt, ist es sehr schwer zu unterscheiden, ob eine an diesem beobachtete Bewegung eine willkührliche oder eine solche durch Reflex sei; nur eine längere, sorgfältige Beobachtung kann hierüber Aufschluß geben. Sicherer geht man indess in allen Fällen, wenn man auf irgend eine Weise den Einfluß des Willens zu eliminiren sucht, indem man entweder die Experimente zu

*) Der Ausdruck *sensibel* ist in diesem Kapitel nur als eine kurze und deshalb bequeme Bezeichnung für solche Nerven zu nehmen, welche ihre Erregungszustände den Centralorganen zuführen. Ich vermeide den Ausdruck *centripetal*, weil sich leicht an ihn die Vorstellung knüpft, daß der Innervationsvorgang in den verschiedenen Faserklassen nur nach *einer* Richtung geschehe.

einer Zeit ausführt, wo kein Muskel willkürlich bewegt wird, wie im Schlaf und der Narkose, oder indem man die Thiere decapitirt. Aber selbst wenn dies geschehen, kann in vielen Fällen doch noch die Art der Bewegung zweifelhaft sein, nämlich dann, wenn ihre *Entstehung* nicht klar vorliegt. Gewöhnlich gibt man an, daß die Reflexbewegungen stets den Charakter der Zweckmäßigkeit an sich trügen, was bei der einfachen Reizbewegung nie der Fall sei. Ohne im *Allgemeinen* eine gewisse Zweckmäßigkeit jener leugnen zu wollen, ist hiergegen Folgendes zu erinnern. Erstens gibt es doch eine Menge reflectorischer Bewegungen, an welchen man keine Zweckmäßigkeit entdecken kann. Daß Kitzeln in der Achselhöhle Bewegungen der Arme zur Folge hat, mag man als zweckmäßig ansehen, aber wie die Bewegung aller zum Lachen dienenden Muskeln in einer zweckmäßigen Beziehung zu jener Hautstelle stehen soll, ist nicht einzusehen. Ebenso kommen bisweilen bei Thieren Reflexbewegungen vor, bei denen man umsonst eine Zweckmäßigkeit aufsucht. Namentlich aber ist dies dann der Fall, wenn die Erregungsfähigkeit der Centralorgane krankhaft gesteigert ist, wo dann nicht selten auf Reizung sensibler Nerven Bewegungen in widersprechendem Sinn, wahre *Reflexkrämpfe* auftreten, wie z. B. nach Strychninvergiftung. Sodann aber ist die Bezeichnung *zweckmäßig* sehr unklar. Soll damit angedeutet werden, daß die Bewegung immer in einer ganz bestimmten Beziehung zur gereizten Hautstelle ausgeführt werde, so hat der obige Satz gar keine Giltigkeit mehr, sobald man sensible Stämme reizt; soll es dagegen soviel heißen als, die Reflexbewegungen seien immer dadurch charakterisirt, daß nur solche Muskeln und Muskelgruppen in Bewegung gesetzt würden, welche sämmtlich einzelne Glieder und Gliederabtheilungen stets in einem und demselben Sinn bewegen; so kann dies Merkmal nicht mehr benutzt werden, um Reflexbewegung von einfacher Reizbewegung zu unterscheiden; denn so können die letztern möglicher Weise auch beschaffen sein, indem der Erfolg hier lediglich von der Nervenvertheilung abhängt, und bis jetzt ein allgemeines Gesetz, nach welchem sich diese etwa richtet, nicht

bekannt ist. Dem Gesagten zu Folge hat es also immerhin etwas Mißliches, eine in ihrer *Entstehung* unklare Bewegung lediglich aus ihrer *Erscheinungsweise* definiren zu wollen. Selbst aber, wenn ihre Genesis klar vorzuliegen scheint, kann es unter Umständen noch Vorsicht erheischen, um nicht in die Irre geführt zu werden. Führt man nämlich die Reizung auf *electricchem* Wege aus, so können leicht von dem Unkundigen unipolare und paradoxe Zuckungen für Reflexbewegungen gehalten werden. Aus diesen Bemerkungen ergibt sich die Methode, ächte reflectorische Bewegungen zu beobachten, von selbst.

Die Experimentalphysiologie hat mehrere Erfahrungssätze über dieselben aufgestellt, von denen die wichtigsten folgende sind :

a) Die Entstehung von Reflexbewegungen ist nicht an die vollkommene Integrität der Centralorgane gebunden, indem sie selbst dann noch auftreten, wenn beide hier betheiligte Faserklassen nur noch mit einem verhältnißmäßig kleinen Stück desselben zusammenhängen. Am sichersten läßt sich dies am Rückenmark nachweisen, weil man hier am leichtesten noch kleine, mit sensibeln und motorischen Nerven zusammenhängende Stücke desselben darstellen kann.

b) Sie erstrecken sich gewöhnlich nicht auf einige wenige, sondern zahlreiche Muskeln und zwar dergestalt, daß ziemlich zusammengesetzte Bewegungen das schließliche Resultat sind.

c) Dieselben lassen sich von den Endverzweigungen der Nerven aus, also von der äußern Körperbedeckung und den Schleimhäuten, viel leichter und in ausgedehnterem Maße hervorrufen, als von den größern Aesten und sensitiven Wurzeln selbst. Sicher überzeugt man sich von dieser überaus wichtigen Thatsache durch chemische Reizung. Applicirt man z. B. auf sensible Stämme Essigsäure von irgend welchem Concentrationsgrade, so kommt bei sorgfältiger Anstellung des Experimentes in den allermeisten Fällen gar keine oder nur eine ganz unbedeutende Bewegung zu Stande, während

wenn man mit derselben Lösung Hautstellen bestreicht, die Reflexbewegungen sich in großer Ausdehnung herstellen.

d) Von der Muskelsubstanz aus lassen sich gar keine Reflexbewegungen auslösen.

e) Die verschiedenen Körperstellen sind der Auslösung von Reflexbewegungen nicht in gleichem Grade günstig, bevorzugt sind in dieser Beziehung : Achselhöhle, Lippen, *vola manus* und *planta pedis*, *regiones iliacae*, Schleimhaut des Schlund- und Kehlkopfes, *Conjunctiva* des Auges.

f) Gewisse Stoffe, z. B. Strychnin, wenn sie in den Kreislauf des Thieres gebracht werden, machen die Centralorgane in hohem Grade für das Entstehen von Reflexbewegungen geneigt; doch muß man diese Steigerung der Erregbarkeit als eine abnorme ansehen, indem bei Reizung gewisser Körperstellen nicht etwa die bei nicht vergifteten Thieren bei Reizung derselben Stelle beobachteten Bewegungen leichter auftreten, sondern ganz andere und viel ausgedehntere. Beiläufig sei noch bemerkt, daß man sich durch besondere Versuche davon überzeugt hat, daß die Wirkungen des Strychnins und der ihm ähnlich wirkenden Stoffe nur auf die Centralorgane und nicht auf die peripherischen Nerven geschehen *).

g) Die Stärke und Ausdehnung der Reflexbewegungen steht unter übrigens gleichen Umständen mit der Stärke und Ausbreitung des angewandten Reizes in ziemlicher Proportion.

h) Eine nicht geringe Anzahl Bewegungen des gesunden menschlichen Körpers sind ächte Reflexbewegungen, z. B. Husten, Niesen, Gähnen, Lachen, Erbrechen. Auf sie alle aber hat, gleichwie auf die automatischen Erregungen, das wollende Hirn innerhalb gewisser Grenzen einen dieselben beschränkenden Einfluß, indem man Husten, Niesen, Lachen u. s. w. bis zu einem gewissen Punkte unterdrücken kann.

*) H. Meyer : Ueber die Natur des durch Strychnin erzeugten Tetanus Henle's und Pfeuffer's Zeitschrift, Bd. V, S. 257 bis 261.

Mitbewegungen nennt man solche, welche durch Uebertragung der Erregungszustände *motorischer* Fasern auf andere *motorische* zu Stande kommen. Die Thatsachen, welche man hierher zieht, sind : Bewegung eines Fingers zieht häufig die eines oder mehrerer anderer nach sich; bei der Accommodation des Auges für verschiedene Fernen bewegt sich die Pupille; beim Runzeln der Stirn heben sich die Augenlieder; beim Bewegen der Ohren und dem Heben schwerer Gewichte verziehen sich die Gesichtsmuskeln. Alle diese und ähnliche Erscheinungen sind aber in ihrer Entstehungsweise so unklar, daß man durchaus kein Recht hat, sie als *reflectorische* Erscheinungen zu betrachten. In den allermeisten Fällen mögen sie ihren Grund in besondern Verhältnissen der Centralorgane haben, dergestalt, daß diese *gleichzeitig* die verschiedenen motorischen Fasern in Erregung setzen; in der That gelingt es auch durch Uebung, viele der Mitbewegungen vermeiden zu lernen.

Reflexempfindungen. Mittheilung der Erregungszustände bewegender Nerven auf empfindende. Man führt als solche an : Unangenehme Gefühle im Innern des Kehlkopfs nach anhaltendem Sprechen oder Singen; Schmerz in den Muskeln nach anhaltender Bewegung; regelwidrig verkürzte Muskeln erzeugen Schmerzen in ihrer Umgebung, welche sich mit dem Durchschneiden der Muskeln heben. Diese Erfahrungen leiden an dem Uebelstand, daß sie mannigfacher Erklärungen fähig sind und keine Momente enthalten, welche die eine oder andere der möglichen Erklärungsweisen zu Gunsten des Bestehens von Reflexempfindungen zurückweisen könnten. Durch andauerndes Singen kann die Schleimhaut des Kehlkopfs einen übermäßigen Grad von Austrocknung erfahren; der Schmerz in den Muskeln kann seine Entstehung einer directen Reizung der sensibeln Nerven, herbeigeführt durch einen veränderten Stoffumsatz oder durch Zerrung, verdanken; die Schmerzen in Folge regelwidrig verkürzter Muskeln können durch Druck oder Zug auf sensible Aeste zu Stande kommen u. s. w.

Mitempfindungen. Mittheilung erregter Zustände zwischen verschiedenen sensibeln Fasern. Man zieht hierher : das Hören unangenehmer Töne, wie das Feilen einer Säge oder Kratzen auf Glasscheiben, erregt ein eigenthümliches Gefühl in der Haut des Rückens und in den Zähnen; Sehen in die Sonne bewirkt Kitzeln in der Nase und Niesen; bei schweren Verletzungen werden nicht selten Schmerzen in ganz von der Wunde entfernten Stellen verspürt; bei Leberkrankheiten werden Schmerzen in der Schulter empfunden. Von diesen Erscheinungen sind gleichwohl nicht alle geeignet, das wirkliche Bestehen von Mitempfindungen zu beweisen; nur das eigenthümliche Gefühl in den Zähnen nach dem Hören unangenehmer Töne dürfte für den Augenblick noch keine andere Erklärung zulassen. Auch würden sich die im Gefolge von Leberleiden einstellenden Schulterschmerzen als Mitempfindungen ansehen lassen, wenn sich die von Luschka*) entdeckten Leberzweige des nervus phrenicus als ächte sensible Fasern sollten erweisen lassen, und wenn es gelingen sollte auf eine überzeugende Weise darzuthun, daß die Reizung jener Zweige in der That Schmerzen in den Hautnerven der Schulter hervorruft. Leider lassen sich die meisten pathologischen Erscheinungen nicht so weit ins Einzelne zergliedern, wie es der Physiolog wünschen muß, wenn er sie zur Stütze gewisser Lehren benutzen will.

Die Theorie dieser Erscheinungen liegt noch sehr im Argen. Die wichtigsten hier zu lösenden Fragen sind : Wie und wo kommt die Uebertragung der Erregungszustände der Nerven innerhalb der Centralorgane auf andere zu Stande; warum treten auf Reizung bestimmter Hautstellen die Bewegungen bestimmter Muskelgruppen in einer gewissen Reihenfolge leichter auf, als die anderer; woher kommt es, daß die Reizung der äußern Haut und Schleimhäute leichter als die der Aeste und Stämme Reflexbewegungen auslöst; worin hat es seinen Grund, daß gewisse Körperstellen vorzugsweise

*) Der nervus phrenicus des Menschen.

dafür geeignet sind? Leider läßt sich zur Zeit noch auf keine derselben eine genügende Antwort geben. In Bezug auf die erste, weil augenscheinlich die wichtigste, hat man mehre Hypothesen ersonnen, deren Unzulänglichkeit jedoch bereits allgemein eingesehen ist. Wir führen indess die wichtigsten und ihre Widerlegungen an, um den Anfänger wenigstens mit der Sachlage bekannt zu machen. Hall, Grainger und Spiels nehmen ein besonderes *excitomotorisches* System an, doch aus verschiedenen Gründen und in verschiedener Weise. Die beiden ersten nehmen, weil sie zwei wesentlich so verschiedene Functionen, wie die empfindende willkürlich motorische und reflectorische, sich nicht durch dieselbe Nervenfasern vermittelt denken können, an, daß es außer den empfindenden und willkürlich motorischen Fasern ein besonderes Fasersystem gebe, welches in excitirende, die sich an allen Stellen, von denen aus man Reflexbewegungen hervorrufen kann, ausbreiten und in bewegende Fasern, motoren, zerfalle, durch deren Thätigkeit die Muskeln bei der Reflexbewegung erregt werden. Abgesehen davon, daß diese Hypothese an dem Uebelstand leidet, daß sie durch keine That-sachen, sondern nur durch eine nicht begründete Vorstellung indicirt ist, führt sie zu der nicht bewiesenen und nicht leicht glaublichen Folgerung, daß an einem jeden Punkte des Körpers, mit welchem wir empfinden und von dem aus Reflexbewegungen erregt werden können, und Beides dürfte so ziemlich an allen Punkten der Oberfläche des menschlichen Körpers der Fall sein, immer eine empfindende und eine excitirende Faser sich ausbreite. Ueberdies macht diese Hypothese nicht klar, wie das Uebergreifen des Reizes innerhalb der Centralorgane von einer Faser auf die andere statt finde. Sie nimmt zwar an, daß dies *unmittelbar* geschehe, enthält sich aber jeder Angabe einer nähern Vorstellung darüber. Spiels setzt, weil er für jegliche, erdenkbare Nervenart das Gesetz der isolirten Leitung festhält, folgerecht auch nicht zugeben kann, daß eine sensible Faser das eine mal dem Hirn isolirt einen Reiz zuführt und in ihm eine Empfindung anregt, das andere mal eine reflectorische Bewegung erzeugt, gleichwohl

ein besonderes excitomotorisches Fasersystem nur mit dem Zusatz voraus, daß zwischen beiden Faserklassen directe Anastomosen existiren. Allein auch diese Annahme muß verworfen werden; denn abgesehen davon, daß sie die Vorwürfe der vorigen treffen, muß sie, da man so ziemlich von jeder Hautstelle aus, wenn nicht allgemeine, doch weitgreifende Reflexbewegungen hervorrufen kann, voraussetzen, daß eine jede excitirende Faser mit fast allen motorischen anastomosire. Dies ist unmöglich; denn man müßte demgemäß bei der microscopischen Untersuchung der Centralorgane nicht selten auf solche Bilder stoßen, was bekanntlich nicht der Fall ist. Mit der Entdeckung der Ganglienkörper in den Centralorganen konnte man sich vorstellen, daß die Uebertragung durch diese geschehe. Je nachdem man nun annimmt, daß die Fortsätze jener ächte Nervenfasern sind oder nicht, was bekanntlich die Anatomen nicht ins Reine bringen können, wird die Vorstellung eine andere. In beiden Fällen ist sie zwar wesentlich verschieden von der vorigen, insofern das ganze excitomotorische System entfernt ist; allein im erstern würde die Uebertragung doch wesentlich wie nach der Ansicht von Spiefs zu Stande kommen, es sei dann, daß man den Ganglien besondere, die Erregungszustände der sensibeln Nerven modificirende Eigenschaften zuschreiben wollte; im andern Falle dagegen müßten die Ganglien nur als vermittelnde Glieder zwischen beiden Fasersorten angesehen werden, wobei es aber immer wieder an Thatsachen fehlt, sobald man es versucht, diesem unklaren Mittelding eine begreifliche Function zuzuweisen. Stets aber bleiben beide Anschauungen Hypothesen, die zu ihrer Grundlage keine Thatsachen, sondern nur microscopische Bilder haben. Endlich hat man sich vorgestellt, daß die Erregungen irgend einer Nervenfaser ohne Anastomosen und ohne irgend ein weiteres, nervöses Mittelglied auf andere übertragen würden, also eine ächte Querleitung statt fände. Diese Theorie scheint vielen Physiologen durch die Entdeckungen von du Bois *) gestützt zu werden, zu

*) Siehe oben S. 76.

Folge deren dann alle reflectorischen Erscheinungen nach Art der paradoxen Zuckung zu Stande kommen würden. Ich rathe indeß, vorsichtig zu sein. Man bedenke, daß jene nur der *electrischen* Erregung eigenthümlich ist, und daß es eine Menge unbewiesener, zum Theil sonderbarer Voraussetzungen bedürfen würde, um nur auch die allergrößten Züge der reflectorischen Vorgänge zu begreifen. Aus diesen Bemerkungen geht mithin hervor, daß wir über die Art und das Wo der Uebertragung noch völlig im Unklaren sind. Ebenso wenig kann man auch die übrigen der oben aufgestellten Fragen beantworten. Niemand vermag zu sagen, warum auf gewisse Reize diese oder jene Bewegungen leichter entstehen, als andere, weil Niemand das mechanische Gefüge kennt, welches nach der einen Richtung hin leichter spielt, als nach der andern; oder anzugeben, weshalb sich von der Peripherie aus leichter als von den Stämmen Bewegungen auslösen, denn man weiß nicht, ob in beiden Fällen differente Zustände im Nerven rege werden oder nicht und ob für beide geschiedene Stellen im Centralorgane vorhanden sind oder nicht und welche dies etwa sein möchten; weshalb diese oder jene Körperstelle sich vorzugsweise zur Erregung von Reflexbewegungen eigne, da man nicht angeben kann, ob hier ein größerer Nervenreichthum an den betreffenden Stellen oder eine besonders leichte Erregbarkeit der zugehörigen Punkte im Centralorgane das Bestimmende sind.

Reflectorische Erscheinungen des Hirns im Besonderen. Sie sind bisher noch nicht Gegenstand einer besonderen Untersuchung gewesen. Was man von ihnen weiß, ist meist gelegentlich beobachtet worden. Folgendes dürfte außer den im vorigen Abschnitt bereits mitgetheilten Thatsachen etwa noch zu erwähnen sein :

a) Von den sensibeln Nerven des Kopfes aus lassen sich nicht allein Bewegungen in den Kopf- sondern auch in den Rumpf- und Extremitätenmuskeln auslösen.

b) Viele sensible Zweige der Kopfnerven stehen in naher reflectorischer Beziehung zu den Muskeln, in deren Nachbarschaft sich jene ausbreiten. Ein übermäßiger Lichtreiz oder

eine Reizung der *conjunctiva oculi* hat Erregungen der motorischen Nerven der Muskeln des Augapfels und der Augenlider zur Folge. Reizung der Haut des Gesichtes, wie Ziehen an den Barthaaren und Streichen an der Lippe, löst zunächst Bewegungen der Gesichtsmuskeln aus, ebenso die der Schleimhaut der Zunge Bewegungen ihrer Muskeln u. s. w.

c) Als die hauptsächlichsten reflectorischen Organe im Gehirn müssen die *medulla oblongata* und die *Vierhügel* angesehen werden; indem alle in der Sphäre des Athmens vorkommenden Reflexbewegungen, wie: Niesen, Husten, Gähnen u. s. w. zu ihrem Zustandekommen der von dem verlängerten Mark abhängigen Erregung der Athemnerven bedürfen und die reflectorischen Bewegungen des Auges nach Zerstörung der *corpora quadrigemina* aufhören.

Wir gelangen zu den *psychischen* Thätigkeiten des Hirns. Einige derselben bleiben so sehr auf dasselbe beschränkt, daß ihre nähere Betrachtung so lange einer andern Wissenschaft, welche, anstatt ihre Begriffe auf dem reinen Boden des Experimentes erwachsen zu lassen, es vorzieht, sie aus Kanonen in die Welt hineinzuschleusen, überwiesen werden muß, bis die Physiologie Muse und Mittel findet, sich der hierher gehörigen Fragen würdig anzunehmen. Ein anderer Theil dagegen, wie das *Empfinden* und die *willkührliche, motorische Erregung*, bieten wenigstens zum Theil experimentelle Angriffspunkte. Nur mit diesen beschäftigen wir uns hier.

3) *Das Empfinden.* *) Bei jedem Empfindungsact hat man, gleichwie bei jeder Muskelzuckung, sorgfältig von einander zu scheiden: die Dinge, welche die Eingriffe auf die Nerven machen, und welche wir die *Erreger* der Empfindung nennen; die Vorgänge, welche im *Nerven* selbst durch jene erzeugt werden und endlich die Thätigkeiten, welche das *Prüfungsorgan*, hier das Hirn, als Antwort auf die Erregungszustände des

*) Wir geben nur die *Grundzüge* der Empfindungslehre, indem das Speciellere derselben einer Physiologie der Sinnesorgane angehört.

Nerven ertheilt. Dem Plan der Darstellung gemäß sollten wir uns hier nur mit den letztern beschäftigen. Allein, da ein näheres Eingehen darauf nicht gut möglich ist, ohne vorher besondere Kenntniss von den mannigfachen Erscheinungen zu nehmen, an deren Zustandekommen das Hirn seinen Antheil hat, da ferner sich darunter solche finden, bei denen es unmöglich ist, sie so ins Einzelne zu zergliedern, daß das, was auf Rechnung des Gehirns kommt, klar hervortritt, welche zu wissen aber dennoch wichtig ist, so sollen jene vorerst besonders mitgetheilt werden. Auch wollen wir vorher noch zur Vervollständigung der Lehre des vorigen Paragraphen einige Bemerkungen über den Innervationsvorgang im sensibeln Nerven vorausgehen lassen.

a) *Die Empfindungserscheinungen.* Durchgeht man die zahlreichen Bewegungen, welche, auf den Körper eindringend, in ihm Empfindungen erregen; so ergeben sich folgende, durch die Erfahrung festgestellte Sätze: α) Eine gewisse Anzahl von Erregern löst nur an ganz *bestimmten Stellen* des Körpers Empfindungen aus. So gelangen Tausende von Schallwellen und Millionen von Lichtwellen täglich bis zu unsern Haut-, Geruchs- und Geschmacksnerven, aber sie finden nicht hier, sondern nur, wenn sie das Ohr und das Auge treffen, die Bedingungen zur Erzeugung von Empfindungen vor. Man kann auf die Hautnerven den Staub wohlriechender Blumen streuen, aber vergeblich wird man auf diese Weise eine Empfindung anzuregen streben. Der Grund dieses Verhaltens ist unbekannt; denn man hat kein Mittel, zwischen den beiden Möglichkeiten zu entscheiden: ob die verschiedenen sensibeln Nerven eine so sehr von einander abweichende, molekulare Structur haben, daß sie zur Erregung des Innervationsvorganges in ihnen, Erreger von einer ganz speciellen Natur, adäquater Reize, bedürfen, oder ob jede den Nerven treffende Bewegung ohne Ausnahme die Nerventhätigkeit erregt, aber so, daß gewisse Besonderheiten derselben von der Qualität des Reizes abhängen, dieser oder jener Hirntheil jedoch, mit dem die betreffende sensible Faser im Zusammenhang ist, nur Nervenenerregungen von ganz

besonderem Charakter beantwortet. β) Die Empfindung wird wesentlich eine *andere*, je nachdem dieselben Erreger die Nervenstämme oder ihre *äußersten Enden* treffen, so dafs, wenn die letztern fehlen, oder nicht mehr functioniren, gewisse Empfindungen in Wegfall kommen. Dies wichtige Factum ist zuerst von E. H. Weber *) mit Bestimmtheit ausgesprochen und durch zahlreiche Beobachtungen von ihm und Andern bewiesen. Wir führen in dieser Beziehung folgende Thatsachen an. Der nervus opticus ist unfähig, Lichtempfindungen zu vermitteln, wenn die Beleuchtung ihn als Stamm und nicht seine retina trifft **). Eine verbrannte Zunge unterscheidet nicht mehr die verschiedenen Geschmäcke und der Diabetiker schmeckt nicht den Zucker seines Blutes. Der durch Catarrh der Nasenschleimhaut, oder durch längere Berührung mit kaltem Wasser an seiner peripherischen Ausbreitung veränderte nervus olfactorius riecht nicht mehr. Für den nervus acusticus fehlt es noch an zuverlässigen Erfahrungen. Was die Hautnerven betrifft, so zeigte Weber, dafs brandig zerstörte Hautstellen des *Temperatur-* und *Ortssinnes* verlustig gehen; dafs bei Erkältung von Nervenstämmen, z. B. des nervus ulnaris, indem man den Ellenbogen in eine Kältemischung taucht, oder des Lendengeflechtes, indem man kaltes Wasser in das rectum injicirt, nie *Temperaturempfindungen* zu Stande kommen, sondern das *unbestimmte* Gefühl des Prickelns und bei längerer und heftiger Einwirkung ein geringer oder gröfserer Schmerz; dafs ferner dasselbe stattfindet, und nicht die Empfindung eines *Druckes* oder *Zuges* wahrgenommen wird, wenn man die Nervenstämme auf beliebigen Punkten ihres Verlaufes zusammendrückt. Dies Verhalten gab zu der Voraussetzung Veranlassung, es möchten an den peripherischen Enden der Nerven besondere Organe gelegen sein, durch

*) Siehe dessen Artikel: Tastsinn und Gemeingefühl, in R. Wagner's Handwörterbuch der Physiologie; eine Arbeit, welche die Fundamentaluntersuchungen der neuern Empfindungslehre enthält.

**) Helmholtz, Beschreibung eines Augenspiegels, S. 39.

deren Vermittelung jene besonderen Empfindungen erzeugt würden. Für das Auge und das Ohr hatte eine solche Nichts Befremdendes, indem in der Nähe der Enden des Seh- und Hörnerven in der That mannigfache Einrichtungen vorkommen; wohl aber für die Hautnerven, bis später R. Wagner und Meissner *) die sogenannten corpuscula tactus der Cutispapillen entdeckten. γ) Manche Nervenstämme haben das Eigenthümliche, daß scheinbar die *differentesten* Erreger unter allen Umständen *gleichartige* und nur *graduell* verschiedene Empfindungen auslösen. So erzeugen die Stämme der Hautnerven einen geringern oder größern *Schmerz*, mögen sie mechanisch, chemisch, thermisch oder electrisch gereizt werden. Der Opticusstamm ruft eine *Lichtempfindung* hervor, gleichgiltig, ob er durchschnitten, oder gedrückt, oder vom electrischen Strom durchflossen wird. Für die übrigen Sinnesnerven sind zwar ähnliche Angaben vorhanden, aber nicht zuverlässig genug. δ) Die Empfindungen *erlöschen* nicht sofort mit dem *Verschwinden* des Reizes, sondern dauern nach Entfernung desselben noch längere oder kürzere Zeit fort. Man belegt diese Erscheinungen mit dem Namen der *Nachempfindungen*. Nicht alle Sinnesnerven scheinen aber zu ihrer Erzeugung in gleichem Grade geeignet zu sein. Am leichtesten kommen sie durch den *Sehnerven* zu Stande. Durch Versuche von Fechner, Plateau, Bruecke, d'Arcy, Cavallo und Andern, deren weitere Mittheilung einer Physiologie des Sehens anheimfällt, sind die Nachbilder in den mannigfachsten Beziehungen untersucht und namentlich die Zeit ihres Beharrens als abhängig von der *Intensität* des Lichteindrucks und der *Dauer* seiner Einwirkung dargethan worden. Nächst dem Sehnerven sind die *Gefühlsnerven* mit dieser Eigenschaft in hohem Grade begabt. Nicht zu gedenken der zahlreichen Erfahrungen des gewöhnlichen Lebens, welche dies zu beweisen scheinen, läßt sich dies durch einen besondern Versuch dathun. Dieser ist aber um so wichtiger, als die vorigen nicht frei von dem

*) Müller's Archiv, 1852, S. 493.

Einwand sind, es möchte das Nachgefühl durch eine *fortdauernde Reizung* der Nerven zu Stande kommen, welche die in der Nachbarschaft derselben liegenden und zumeist veränderten Gewebe auf sie ausüben. Jenen Versuch führt man in folgender Weise aus. Man legt sich an einem Finger eine kleine Hautwunde an und schaltet das betreffende Glied, nachdem man den Schmerz in Folge des Einstechens hat vorübergehen lassen, in den Kreis einer constanten Kette so ein, daß in ihm der Strom aufsteigt. Die positive Electrode und der wunde Finger tauchen hierbei in reines Wasser. Nachdem der Strom 5 bis 10 Minuten angedauert hat, öffnet man die Kette. Man empfindet hierbei in der Wunde einen Schmerz, welcher erst einige Minuten nachher verschwindet. Die Wunde wird hauptsächlich deshalb angelegt, um die Empfindung zu localisiren und sie somit bestimmter aufzufassen. Wodurch die Entstehung der Nachempfindungen zu Stande kommt, ob dadurch, daß durch längere Einwirkung der Reize auf die Nerven, diese nach Entfernung jener in einem veränderten Zustand zurückbleiben, welcher die weitere Veranlassung einer Empfindung wird *), oder ob der in den Centraltheilen erregte Vorgang persistirt, ist erst noch auszumitteln. Was die Nachempfindungen der drei übrigen Sinnesnerven anlangt, so bedürfen diese gleichfalls noch einer genauern Untersuchung. Aus allen diesen Thatsachen folgt, daß innerhalb einer gegebenen Zeit nur eine ganz bestimmte Anzahl einzelner Empfindungen zu Stande kommen kann, welche sich nothwendiger Weise als abhängig von der *Dauer* und *Intensität* eines jeden *Einzeleindrucks* erweisen muß.

ε) Eine besondere Beachtung verdient das Verhalten der sensibeln Nerven gegenüber den electricen Reizen, weil sich hieraus einige Anhaltspunkte über die Fortpflanzung der Erregung in diesen Nerven werden gewinnen lassen. In dieser Beziehung nun vereinigen sich zahlreiche Beobachtungen dahin,

*) was nach den S. 87 und 88 mitgetheilten Beobachtungen nicht unwahrscheinlich ist.

zu beweisen, daß der sensible Nerv nicht bloß, gleich dem motorischen, jegliche, hinlänglich große *Schwankung* in der Dichte des Stromes, sondern auch die sich gleichbleibende *absolute Höhe* derselben beantworte. Doch ist dies mit Sicherheit bis jetzt nur für die Haut-, Geschmacks- und Sehnerven erwiesen. §) Auch durch die zu den Muskeln dringenden Nerven werden gewisse Empfindungen vermittelt. Durch sie kommt das Gefühl der Ermüdung und der Muskelschmerz zu Stande, und durch sie werden wir uns der Grade der Anstrengung bewußt, welche wir auszuüben haben, um gewisse Widerstände zu überwinden. Durch was für Nerven diese Empfindungen zu Stande kommen, darüber kann man verschiedener Ansicht sein; entweder stellt man sich vor, daß es besondere Empfindungsnerven seien, welche mit den Muskelnerven in die Muskelsubstanz eindringen, oder man denkt sich, daß letztere *selbst* die Vermittler jener Gefühle sind. Man wird die letztere Möglichkeit nicht mehr für absurd halten, sobald man die lebendige Ueberzeugung gewonnen hat, daß jeder Nerv der Fortpflanzung seiner Erregungszustände nach beiden Richtungen hin fähig ist *).

b) *Bemerkungen über den Innervationsvorgang in den sensibeln Nerven.* Am Ende des vorigen Paragraphen kamen wir für den Muskelnerven zu dem Schluss, daß der Innervationsvorgang in einer Bewegung der Nervenmolekeln in Folge ihrer electrischen Fernwirkungen bestehe. Da die Versuche, welche die Grundlage dieser Vorstellung bilden (ruhender Nervenstrom, Electrotonus, negative Schwankung des Nervenstromes), sich in gleicher Weise an sensibeln Nerven wie an motorischen darstellen lassen; so müssen wir annehmen, daß der Innervationsvorgang im sensibeln Nerven wesentlich derselbe sei, wie im motorischen. Hiermit ist in Uebereinstimmung das Verhalten des sensibeln Nerven der electrischen Reizung gegenüber. Wir sehen, daß jede Schwankung in der Stromesdichte von einer Empfindung begleitet ist und wissen,

*) Siehe S. 93.

daß während derselben die negative Schwankung des Nervenstromes rege gemacht wird. Aber auch auf den constanten Strom antwortet der sensible Nerv; man muß voraussetzen, daß sich derselbe während dieser Zeit in einem veränderten Zustand befinde; in der That ist uns bekannt, daß die dipolare Anordnung der Nervenmolekeln der Ausdruck eines solchen Zustandes ist. Da aber nachweislich je nach der Stelle am Nerven, wo der Reiz eingreift, die Empfindung eine verschiedene wird und da verschiedene Erreger mittelst derselben Nerven verschiedene Empfindungen zu Wege bringen können; so muß man annehmen, daß auch je der Charakter der im Nerven entstehenden Bewegung ein verschiedener ist, dessen Besonderheiten aufzufassen aber bis jetzt keinem physikalischen Instrument, sondern nur dem Hirn vergönnt ist.

c) *Die Thätigkeiten des Hirns bei dem Empfindungsact.* Wir pflegen Empfindung jede *bewusste* Veränderung unseres Zustandes zu nennen. Demgemäß betrachten wir auch mit diesem *Bewustwerden* den Empfindungsact erst als abgeschlossen. Dieses Eintreten der Empfindung ins *Bewusstsein* setzt aber, außer den nothwendigen Thätigkeiten im Nerven, voraus, daß unsere *Aufmerksamkeit* nicht anderwärts mit besonderer Tiefe in Anspruch genommen ist. Wo dies der Fall ist, kommt die Empfindung gar nicht oder erst nachträglich zu Stande. So können während intensiver, geistiger Beschäftigung zahllose Schallwellen in unser Ohr dringen, ohne daß wir auch nur die leiseste Empfindung eines Tones haben; sind jene jedoch in dem Augenblick, wo wir ihnen die Aufmerksamkeit wieder zuwenden, noch nicht allzu lange Zeit verschwunden, so fällt die Empfindung noch nachträglich ins Bewusstsein. Dies hat Veranlassung zu der Behauptung gegeben, daß die Empfindungen auch als *unbewusste* existiren könnten, gemäß welcher man voraussetzt, daß die Erregungszustände der Nerven bei ihrem Eintritt in das Hirn daselbst irgendwo neue Erregungen, die unbewussten Empfindungen, einleiten, welche erst unter besondern Bedingungen zum Bewusstsein kommen. Da es aber sehr schwer, vielleicht unmöglich ist, zu entscheiden, ob die Empfindungen, deren wir uns

erst nachträglich bewußt werden, dadurch zu Stande kommen, daß sich in den Nerven nach Entfernung des Reizes der Erregungszustand noch eine Zeit lang erhält, oder ob ein in einem beliebigen Hirntheil erregter und den Reiz überdauernder Zustand die Ursache davon ist, und da ferner, wenn letzteres der Fall ist, dieser sich möglicher Weise aus einer größern Anzahl verschiedener Momente zusammensetzt, von deren Natur wir nicht die mindeste Notiz haben, folglich jenen auch nicht definiren können; so hat, wenigstens für die Physiologie, die Annahme unbewußter Empfindungen keinen besondern Werth. Für uns existirt mithin die Empfindung erst in dem Augenblick, wo sie ins Bewußtsein eintritt. Die Besonderheiten dieses Vorganges sind jetzt nun specieller aufzufassen. Man findet sie in Folgendem: *α) Das Hirn als rein empfindendes weiß niemals Etwas über den Ort, an welchem auf irgend eine seiner Nervenfasern eingewirkt wird.* Zuvörderst sollte man glauben, es würde den Ort der Einwirkung dahin verlegen, wo es angeregt wird, nämlich an das Hirnende jeder Faser, also da, wo diese, so zu sagen, mit der Empfindungssubstanz in Berührung ist. Jedermann aber weiß, daß dies nicht der Fall ist. Aber es legt ihn auch nicht dahin, wo er in Wirklichkeit gemacht wird; denn beim Sehen haben wir keine Empfindung im Auge; beim Hören keine solche im Ohr; beim Druck auf einen Nervenstamm nicht an der unmittelbar gedrückten Stelle, sondern von ihr an abwärts an all den Orten, wo sich der Nerv verbreitet; bei Gehirn- und Rückenmarksleiden setzen die Kranken nicht selten den Ort des Schmerzes weit entfernt von der wirklich leidenden Stelle; beim Berühren von Gegenständen mit unsern an und für sich unempfindlichen Haaren und Zähnen verlegen wir den Ort der Einwirkung an die Enden derselben, während gewiß ist, daß hier kein Eindruck auf die Nerven stattfindet. *β) Aber es erlangt durch die reine Empfindung unmittelbar Kenntniß davon, an welchem Ort des Körpers die Eindrücke geschehen.* Wenn irgend eine Stelle unseres Körpers berührt wird oder schmerzt, so vermögen wir ohne Weiteres anzugeben, wo sie liegt und verwechseln sie mit keiner andern, gleichfalls erregten

und neben ihr liegenden. Diese Thatsachen werden durch eine von Weber und Müller ersonnene Hypothese erläutert. Man nimmt mit diesen an, daß jede an irgend einer Stelle des Körpers sich ausbreitende Nervenprimitivfaser mit einer ganz bestimmten Hirnstelle in Verbindung sei, so daß der Anordnung sämtlicher Nervenfasern in den empfindenden Theilen des Körpers eine ebensolche im Gehirn entspreche; überdies setzt man noch voraus, daß jede Primitivfaser ihre Erregungszustände isolirt bis zum Gehirn leite. In der That wird unter diesen Voraussetzungen einsichtlich, wie das Hirn die auf zwei verschiedene Nerven gemachten Eindrücke als räumlich gesonderte empfinden muß. *γ) Die Kenntniß von dem Ort, wo auf irgend eine Nervenfaser eingewirkt wird, erhalten wir durch eine weitere Thätigkeit unseres Gehirns, nämlich durch die Auslegung der Empfindung und die Bildung von Urtheilen.* Diese Auslegung der Empfindungen, d. h. die Einsicht, daß die Empfindungen durch außerhalb unseres Körpers befindliche Bewegungen erzeugt werden, ist indess nicht in allen Fällen möglich; aber wo sie geschieht, verbindet sie sich augenblicklich und so innig mit der Empfindung, daß wir beide nicht von einander scheiden und deshalb häufig die Vorstellung für jene selbst halten. Die Bedingungen, unter denen es zur Bildung von Vorstellungen der Empfindung kommt, sind: wenn der eingreifende Reiz nicht von übermäßiger Intensität ist, so daß die ruhige Reflexion nicht gehindert wird, wenn die Nerven, an dem Ort, wo auf sie eingewirkt wird, eine besondere Organisation haben, damit wir die örtlichen Verschiedenheiten der Eindrücke, die vielen Grade und Qualitäten der Empfindungen wahrnehmen können, und wenn die empfindenden Nerven auf besonders beweglichen Flächen aufgesetzt sind, oder solche in ihrer Nähe haben, so daß wir in der Bildung der Urtheile durch die Bewegungsvorstellungen unterstützt werden. Wo dies nicht der Fall ist, haben wir nur *reine* Empfindungen, welche nicht *vorgestellt* werden können. Man nennt letztere *Gemeingefühlsempfindungen*, die erstern dagegen *Sinnesempfindungen*. Diese Bemerkungen ergeben sich aus einer etwas genauern Betrachtung alltäglicher

Erscheinungen. Wir führen einige Beispiele an. Wirkt auf die Haut eine sehr hohe Temperatur, so fühlen wir, daß gewisse Theile unseres Körpers *schmerzen*; aber weil die Vorstellung gleichsam von der Empfindung übertäubt wird, legen wir in demselben Augenblick die Empfindung nicht dahin aus, daß irgend ein *äußerer* Gegenstand dieselbe bewirkt habe. Wenn wir Empfindungen von Wärme und Kälte haben, so gelingt es uns nur dann, sie auf äußere Objecte zu beziehen, wenn sie uns durch solche Nerveinrichtungen zugekommen sind, vermöge deren es möglich ist, verschiedene besondere Beziehungen jener Empfindungen aufzufassen, wie z. B. daß eine Hautfläche von bestimmter *Größe* und *Gestalt* erwärmt worden sei, oder daß die Einwirkung eine in der *Zeit* bestimmt abgegrenzte war. So kommt es, daß wenn wir Nervenstämme erwärmen oder erkälten, wir die dadurch entstehenden Empfindungen nicht auslegen. Endlich würden wir höchst wahrscheinlich die Ursache der Gerüche niemals *aufser* uns suchen, wenn wir nicht in Erfahrung gebracht hätten, daß man durch eine *Bewegung* gegen die Quelle des Geruchs hin oder durch ein größeres Oeffnen unserer Nasenlöcher die Geruchsempfindung verstärken können. Sobald es uns nun gelungen ist, die Bewegungen, durch welche unsere Empfindungen zu Stande kommen, als *aufser* uns liegende zu erkennen, so kommen wir durch die Ueberlegung, daß die Nerven nicht über unsern Körper hinausreichen, zu der Kenntniss, daß an den äußersten Enden unserer Nerven der Reiz eingewirkt haben müsse. Wenn aber Jenes unmöglich ist, legen wir in allen Fällen den *Ort* des Eingriffs nach der *Peripherie* der Nervenfasern hin. Diese unerklärte Erscheinung nennt man das Gesetz der *excentrischen Erscheinung* oder der *peripherischen Uebertragung*. δ) Welche *molekularen Vorgänge* des Gehirns diese verschiedenen Thätigkeiten ausmachen, weiß man nicht.

Wir kommen schliesslich zur Frage nach dem *Sitz* der Empfindung. Man darf es als ausgemacht ansehen, daß der Sitz der Empfindung im Hirn und nicht im Rückenmark zu

suchen ist *); denn zahlreiche pathologische Erfahrungen haben gelehrt, dafs wenn an irgend einer Stelle das Rückenmark eine erhebliche Läsion erleidet, alle diejenigen Hauttheile, welche ihre Nerven von dem abwärts von jener gelegenen Theile des Rückenmarks erhalten, *empfindungslos* werden, selbst dann, wenn das Auftreten von Reflexbewegungen noch die Unverletztheit der Fasern und die physiologische Integrität des betreffenden Rückenmarkstheiles bezeugt **). Hierzu kommt, dafs bei Unversehrtheit des Rückenmarks bei weitem die meisten, oft ganz geringfügigen Verletzungen des Gehirns eine vollkommene oder theilweise Empfindungslosigkeit zur Folge haben. Aber es ist zur Zeit noch unmöglich, die Stellen des Gehirns genauer anzugeben, wo die Empfindung gebildet wird. Um indess in dieser Beziehung einige Anhaltspunkte zu finden, hat man bei eröffnetem Schädel an Thieren, freilich unvollkommen genug, verschiedene Hirntheile auf ihre Empfindlichkeit geprüft. Als unempfindlich erwiesen sich: das infundibulum, die hypophysis, die Zirbeldrüse, der Balken, die commissura anterior, die Oberfläche der Grofs- und Kleinhirnhemisphären (wie es scheint, doch nur bei gewissen, niedriger stehenden Thieren); empfindlich fand man: den Boden der vierten Hirnhöhle, die crura cerebelli ad pontem, die Grofshirnschenkel, die Vierhügel, die Brücke und das verlängerte Mark. Diese Thatsachen aber beweisen Nichts mehr, als dafs an den genannten empfindlichen Stellen empfindliche Elemente überhaupt in gröfserer Anhäufung zusammengelagert sind. Für den Menschen weifs man, dafs für die Bil-

*) Die Beweise, welche Pflüger: die sensoriellen Functionen des Rückenmarks der Wirbelthiere nebst einer neuen Lehre über die Leitungsgesetze der Reflexionen, Berlin 1853, in dieser Beziehung zu Gunsten des Rückenmarks vorgebracht hat, werden von einer ruhigen Kritik für ungenügend gehalten.

**) Fälle der Art finden sich fast in allen Zeitschriften über practische Medicin verzeichnet; man sehe z. B. einen solchen in Oppenheim's Zeitschrift, Bd. XXXIX, Heft 2: Practische Mittheilungen aus dem Gebiete der Nervenpathologie, von Helft.

derung der Tastempfindungen eine wesentliche Bedingung im Streifenhügel, Sehhügel und in der über dem centrum semiovale gelegenen Portion der Hemisphäre localisirt sein muß. Denn bei Blutergüssen in die genannten Stellen findet man, daß das Empfindungsvermögen der Arme, Beine und des Rumpfes bis zur Mittellinie geschwächt oder vollkommen aufgehoben ist, immer aber auf der gesunden Seite*). Wie es scheinen will, sind für die Tastempfindungen andere Centralstellen vorhanden, als für die Gemeingefühlsempfindungen, welche durch die Hautnerven zu Stande kommen und für diese wieder andere, als für die, welche uns die Muskelnerven verschaffen. Viesseux beobachtete bei einer Lähmung an sich, daß er auf der rechten Seite des Gemeingefühls beraubt war, während der Tastsinn daselbst unversehrt geblieben. Beau hat ähnliche Erfahrung an einem Kranken gemacht, der an Bleicachexie litt. Hieran reihen sich die Erfahrungen mehrer Chirurgen: Gerdy, Malgaigne, Velpeau, Pirogoff und Roser, denen zu Folge in der Aether- oder Chloroformnarkose die Patienten nicht selten das Vermögen, Berührungen zu empfinden, behalten, während sie das der Schmerzempfindung eingebüßt haben. Endlich liegen Erfahrungen vor, daß Glieder ihren Tastsinn und das Vermögen Schmerz zu empfinden verloren hatten, und doch waren solche Kranke noch im Besitz ihres Muskelsinnes.

4) *Die willkührliche, motorische Erregung.* Die wichtigste Frage würde hier die nach dem Mechanismus sein, mittelst dessen das Hirn den motorischen Nerven die Erregungszustände einprägt und nach der Natur der Kraft, welche diesen Mechanismus ins Spiel setzt. Hierüber aber wissen wir leider gar Nichts. Man kann zur Zeit weiter Nichts thun, als sich die durch die Erfahrung gewonnenen Sätze, welche einige, zumeist aber mehr äußerliche Eigenthümlichkeiten der motorischen Erregung aussprechen, vergegenwärtigen und die Neugierde darauf Verzicht leisten lehren, eine Einsicht

*) Man sehe Näheres über diesen Gegenstand bei Weber, l. c. S. 516.

in das zarte Triebwerk des Gehirnmechanismus zu erringen. Jene sind :

a) *Ob jede willkührliche, motorische Erregung continuirlicher Art ist, wie es den Anschein hat, ist noch fraglich; d. h. es ist möglich, daß jede scheinbar stetige Erregung des Nerven sich zusammensetzt aus einer Reihe in äußerst kurzer Zeit aufeinander folgender Erregungen. Wir finden dies wahrscheinlich, weil bei den künstlichen Arten, den Muskel zu erregen, in der That die Erregung diesen Character hat. Denn auch die scheinbar stetigste Muskelzusammenziehung, wie wir sie herzustellen im Stande sind, setzt sich doch dergestalt aus einer Reihe momentaner Zuckungen zusammen, daß von ihnen jede folgende bereits schon den Muskel erfafst, wenn die unmittelbar vorhergegangene sich noch auf dem Wege nachzulassen befindet, eine Erscheinung, welche nur mit der Annahme bestehen kann, daß die Erregung des Nerven selbst nicht continuirlich sei, wie wir dies dann auch insbesondere von der electrischen Reizung aus andern Gründen wissen. Den Beweis für die Discontinuität der Muskelzusammenziehung bei der künstlichen Erregung liefert die von du Bois entdeckte secundäre Zuckung vom Muskel aus. Wird nämlich der Nerv eines Nerv-Muskelpräparates entlang einem andern von seinem Nerven aus tetanisirten Muskel gelegt, so verfällt jenes in Tetanus. Dies aber kann nur dann, geschehen, wenn der Strom des primär erregten Muskels, welcher den Nerven des secundär erregten durchzieht, fortwährend in seiner Intensität schwankt *). Eine solche Schwankung des vom Muskel abgeleiteten Stromes wird aber nur unter der Voraussetzung begreiflich, daß die Muskelzusammenziehung selbst nicht stetiger Natur sei; denn wie sollte die stetige Zusammenziehung von einer unterbrochenen Schwankung des Muskelstromes begleitet sein? Ich übergehe die Aufzählung der möglicher Weise zur Lösung dieser Frage anzustellenden Versuche, weil eine vollständige Beantwortung derselben von du Bois zu erwarten ist.*

*) Siehe S. 68.

b) *Wir dürfen die vom Hirn aus in den Nervenröhren hervorgerufenen Erregungszustände in ihrem molekularen Hergang als identisch mit denjenigen ansehen, welche wir auf künstliche Weise herstellen.* Wir erwähnen diesen, gleichsam sich schon von selbst verstehenden Satz, um daran die Bemerkung zu knüpfen, daß man zwar eine negative Schwankung des Nervenstromes, welche wir als den Ausdruck des Zuckungen erregenden Vorganges angesehen haben*), bis jetzt noch nicht an einem *willkürlich* in Erregung versetzten, wohl aber an, von durch Strychnin vergifteten Centralorganen aus erregten Nerven nachgewiesen hat, eine Erregung, welche zwar nicht mit der willkürlichen identisch ist, immerhin aber von Kräften des Cerebrospinalorgans ausgeht und wohl von da an, wo sie in die Nervenröhren selbst tritt, gleiche Ursache mit ihr hat.

c) *Das Gehirn kann gleichzeitig immer eine grössere Menge von Nervenfasern zur Innervation anregen.* Dies ergibt sich aus alltäglichen Beobachtungen, indem wir viele Bewegungen zu denselben Augenblicken ausführen. Aber das genannte Vermögen hat seine, wenn auch weiten Grenzen. Erstlich scheint es dem Hirn unmöglich zu sein, eine Primitivröhre isolirt von allen andern zu erregen. In der That würde ein Mechanismus, welcher dies ausführen könnte, auch ziemlich bedeutungslos sein; denn alle die am menschlichen Körper zu erregenden Muskeln sind so angelegt, daß sie zu einer kraftvollen Gesamtverkürzung immer der Anregung einer ganzen Gruppe von Nervenfasern bedürfen. Wahrscheinlich ist, daß wir nicht weniger Primitivfasern gleichzeitig erregen können, als die eine einzelne Bewegung auszuführenden Muskeln verlangen, und da manche Bewegungen durch einen einzigen Muskel ausgeführt werden können, nicht weniger, als zu einem einzigen Muskel gehen. Zweitens aber fallen Bewegungen, sobald entweder ihre Zahl wächst, oder zu sehr verschiedenen Zwecken ausgeführt werden, immer *nach* einander aus. Man nehme

*) Siehe S. 92.

sich z. B. vor, gleichzeitig den sämtlichen Fingern einer Hand jedem eine besondere, vorher bestimmte Stellung zu geben und man wird sich wundern über die Trägheit der Bewegung, mit welcher ein Finger dem andern nachkommt. Ebenso ist bekannt, daß Rauchen und Schreiben nicht gleichzeitig geschehen kann. Indefs der Grund dieser und ähnlicher Erscheinungen scheint nicht allein darin gesucht werden zu müssen, daß das Gehirn einer gewissen Zeit bedarf, um von der einen Erregung zur andern *überzugehen*, sondern auch darin, daß, da die willkürliche motorische Erregung eine gewisse Aufmerksamkeit voraussetzt, diese bei jeder einzelnen Bewegung eine Zeit lang beharrt, gleichsam um sich zu überzeugen, daß die betreffende Bewegung auch richtig ausgeführt werde.

d) *Manche Muskeln können gar nicht isolirt erregt werden, manche immer nur in Verbindung mit andern.* Niemand kann seinen Magen nach Willkühr verengern oder erweitern und Niemand seinem Herzen gebieten, schneller oder langsamer zu schlagen. Die Mehrzahl der Menschen bewegt bei dem Versuche, den musculus attollens auriculae oder compressor nasi zusammenzuziehen, gleichzeitig auch den m. occipito-frontalis und eine gröfsere oder geringere Anzahl von Gesichtsmuskeln. Ueberhaupt gehören hierher die gewöhnlich als Mitbewegungen aufgeführten Erscheinungen *).

e) *Die willkürliche, motorische Erregung ist in nicht geringem Grade von unseren Sinnesthätigkeiten und den dadurch gebildeten Urtheilen abhängig.* Dies zeigt sich insofern, als α) diese nicht selten die unmittelbare Ursache der Erregung werden. Der Anblick einer auf uns eindringenden, feindlichen Bewegung ruft augenblicklich in uns die bewufste Ausführung einer Anzahl von Muskelthätigkeiten hervor. Das Hören einer Musik setzt die Füfse der Tänzer auf der Stelle in Gang; β) wirden Grad der Zusammenziehungen und die besondere Combination verschiedener Muskelgruppen, welche zur Ausführung

*) Siehe S. 103.

gewisser Bewegungen nothwendig sind, nach den uns durch die Sinne zugekommenen Vorstellungen beurtheilen. Die Kraft, mit welcher wir unsere Muskeln anstrengen müssen, um über einen Graben zu setzen, messen wir nach der durch den Gesichtssinn uns gewordenen Vorstellung über die Breite desselben ab. Um den Geruch einer Blume möglichst vollkommen zu genießen, öffnen wir die Nasenlöcher so weit, als möglich und contrahiren unsere Inspirationsmuskeln stofsweise, weil wir in Erfahrung gebracht haben, dafs die Geruchsempfindung durch die Gröfse und Stärke des mit den Riechstoffen geschwängerten Luftstromes wesentlich begünstigt wird. Der Violinspieler beurtheilt die Kraft, mit welcher er den Bogen führt, nach den Erfahrungen über die Abhängigkeit der Stärke der Töne von der Kräftigkeit des Striches.

f) *Endlich zeigt sie sich abhängig von den mannigfaltigen Zuständen des Gehirns selber*; sie wird unzusammenhängend in der Trunkenheit und schwindet im Schlaf, bei Gehirnkrankheiten und der Narkose; steigert sich dagegen im Wahnsinn und in Leidenschaften.

Ueber die Stellen im Gehirn, von denen die motorische Erregung in all ihren Eigenthümlichkeiten ausgeht, sind wir noch im Unklaren. Die Angaben, dafs nach mechanischer oder electrischer Reizung bestimmter Hirntheile gewisse Bewegungen auftreten, sind zur Lösung unserer Frage ganz untauglich, indem sie im besten Falle nur beweisen, dafs hier und dort im Hirn bewegende Elemente für diese oder jene Muskelgruppe liegen. Zwar könnte ein solches Resultat schon werthvoll sein; aber die Kritik findet an den bisher angewandten Methoden so Vieles auszusetzen, dafs sich die Nervenphysiologie Glück wünschen dürfte, wenn sie sich der hierher gehörigen Angaben auf eine anständige Weise entledigen könnte *). Wichtiger dürfte dagegen das Studium der

*) Wer sich mit ihnen bekannt zu machen wünscht, findet sie verzeichnet bei: Valentin, Lehrbuch der Physiologie des Menschen. 2. Aufl. II. Bd., S. 460 ff.

sogenannten *Zwangsbewegungen* bei Thieren und eine sorgfältige Benutzung *pathologischer Fälle* beim Menschen werden.

a) Die erstern anlangend, versteht man unter ihnen jene wundersamen Phänomene, welche darin bestehen, daß Thiere nach Verletzung gewisser Hirntheile zwar keine auffallenden Lähmungserscheinungen zeigen, aber der Fähigkeit beraubt sind, die *Coordination* ihrer Bewegungen zu beherrschen, sondern dieselben, wie von fremden Kräften getrieben, nach einem bestimmten Modus vollziehen. Gewöhnlich werden folgende Arten aufgeführt: α) *Die Achsendrehung*; sie besteht darin, daß das Thier sich unaufhörlich um seine Längsachse, und zwar nach der verletzten Seite hin, dreht. Sie wird beobachtet, wenn man einen Längsschnitt in die eine Hälfte der Brücke macht und nach einseitiger Durchschneidung der *crura cerebelli ad pontem*. β) *Die Reitbahnbewegung* soll darin bestehen, daß das verletzte Thier sich im Ganzen in einem Kreise bewegt. Man hat sie bei Durchschneidung eines Großhirnschenkels, einseitiger Verletzung der Vierhügel und eines Sehhügels beobachtet. Ist der letztere in seinen beiden vordern Dritteln verletzt, so soll sich das Thier nach der verletzten, wenn in dem hintersten, so nach der gesunden Seite hin bewegen. γ) *Die Halbmesserdrehung*. Bei ihr soll der Vorderkörper des Thieres eine Kreisbewegung machen, wozu die Ferse eines Hinterfusses den Drehpunkt bilden soll. Man will sie bei Durchschneidung der Großhirnschenkel dicht an der Brücke beobachtet haben. Auch von dem Menschen sind Fälle von Drehbewegungen bei pathologischen Veränderungen gewisser Hirntheile beschrieben *). Sollen aber die Erscheinungen, auf welche diese Beobachtungen hinweisen, wahrhaft erspriesslich werden; so bedürfen sie einer viel gründlicheren Bearbeitung, als ihnen bisher zu Theil geworden.

*) Die wichtigsten Fälle findet man verzeichnet bei Serres: *Anatomie comparée du cerveau* II, pag. 620. Magendie: *Leçons sur les fonctions du syst. nerv.* I, pag. 271. Canstatt's Jahresbericht 1847, III, S. 52; 1848, III, S. 48. Leuret: *Gaz. méd.* 1850, 30. Mars.

b) *Pathologische Erfahrungen* am Menschen. Diese sind um so werthvoller, als hier die *Erscheinungen* der willkührlichen motorischen Erregung viel weniger Täuschungen zulassen. Freilich erfordern sie, daß man mit einem hohen Aufwand von Vorsicht bei der Autopsie und der Vergleichung ihrer Resultate mit den Krankheitserscheinungen verfähre. Das Resultat, welches die bisher mit einiger Genauigkeit angestellten Beobachtungen ergeben haben, sagt, daß ein für die willkührliche Erregung wichtiges Moment im *Sehhügel*, *Streifenhügel* und den *anstossenden Theilen der Hemisphäre* sich vorfinden muß. Denn man hat beobachtet, daß bei Blutergüssen in jene Theile die Extremitäten — und häufig auch die Kopfmuskeln der *entgegengesetzten Seite* gelähmt werden. Niemals aber fand man, daß sich die Lähmung auch gleichzeitig auf die Rumpfmuskeln erstreckt habe. Diese Beobachtungen erhalten aber nun noch durch die Bemerkung E. H. Weber's eine besondere Wichtigkeit, daß an denselben Stellen ein nicht minder wichtiges Glied für die Bildung der durch die Hautnerven der Extremitäten vermittelten Empfindungen gelagert ist; so daß *die Empfindung und Bewegung vermittelnden Nervenfasern*, welche sich in ihren physiologischen Leistungen gegenseitig so sehr unterstützen, im Hirn einander sehr nahe liegen. Daß nach diesen wenigen Thatsachen von einer Bestimmung des Sitzes der willkührlichen, motorischen Erregung keine Rede sein kann, versteht sich von selbst.

5) *Physiologie der Hirnnerven*. Da wir die drei höhern Sinnesnerven hier nicht besprechen, bleiben nur folgende übrig *):

a) *nervus oculomotorius*. Ob er von Hause aus gemischt oder rein motorisch ist, lassen die bisherigen Angaben unentschieden. Da er mit dem n. trigeminus anastomosirt, ist es begreiflich, daß er bisweilen sensibel befunden wird. Als motorischer

*) Bezüglich der motorischen Functionen der Kopfnerven ist zu bemerken, daß viele Angaben über dieselben unsicher sind. Die meisten stammen aus einer Zeit, wo man von der unipolaren und paradoxen Zuckung keine Kenntniß hatte, und doch hat man sich nachweislich nicht selten der electrischen Reizung bedient.

Nerv steht er bei dem Menschen den Bewegungen der mm. rectus internus, rectus inferior, obliquus inferior, rectus superior, levator palpebrae und sphincter pupillae, bei Thieren auch noch zum Theil denen des rectus externus, obliquus superior und des retractor bulbi vor. Ausnahmsweise sind auch beim Menschen von Fick und Fäsebeck Zweigelchen zum rectus externus und obliquus superior präparirt worden. Sein Einfluß auf die Pupillenbewegung ergibt sich daraus, daß bei seiner Durchschneidung die Pupille sich stark verengt. Zwar erweitert sie sich später wieder, aber sie hat alsdann ihre Beweglichkeit eingebüßt. Ebenso wird bei Menschen, welche an einer Lähmung dieses Nerven leiden, entsprechend dem Grade derselben, geringere oder gröfsere Unbeweglichkeit der Pupille beobachtet. Uebereinstimmend mit diesen Erfahrungen sind die Angaben Budge's und Nuhn's. Jener hat bei Fröschen, dieser an einem Enthaupteten auf galvanische Reizung des n. oculomotorius die Pupille sich verengern und nach Nachlaß des Reizes sich wieder erweitern sehen *).

b) *nervus abducens*. Er ist der motorische Nerv des m. rectus externus des Menschen; bei Thieren geht er auch noch in Gemeinschaft mit dem n. oculomotorius zum retractor bulbi.

c) *Der nervus trochlearis* erregt nur den musculus obliquus superior.

Besonders bemerkenswerth sind die gegenseitigen Beziehungen, in welchen diese drei Nerven *beider* Seiten stehen, wie eine nähere Betrachtung der beiden Augen zu gleicher Zeit möglichen und nicht möglichen Bewegungen ergibt.

d) *Der nervus trigeminus ist ein gemischter Nerv*. Er vermittelt die Empfindung der dura mater, der Augenhöhle und ihrer Umgebungen, der Stirn, der ganzen Gesichtsfläche, des vorderen Theiles des äufsern Ohres, des äufsern Gehörganges, der Nasenhöhle, des Gaumens, der Zunge, der Zähne und des

*) Froriep's Tagesberichte 1852, Nr. 445 und Henle's und Pfeuffer's Zeitschrift. Neue Folge, III. Bd., S. 129.

Bodens der Mundhöhle. Er ist ferner der *bewegende Nerv* für die mm. temporalis, masseter, pterygoidei, digastricus anterior maxillae, tensor palati, tensor tympani und mylohyoideus. Ferner steht er der *Absonderung* in der glandula parotis, submaxillaris und lacrymalis vor. Höchst wahrscheinlich vermittelt er auch die *Geschmacksempfindung* im vordern Theil der Zunge. Endlich sind seine *Einflüsse* auf die Bewegungen der Pupille und die *Ernährungserscheinungen* der iris, conjunctiva, der Schleimhaut der Nase, des Zahnfleisches und überhaupt der Hauttheile, in denen er sich verbreitet, hervorzuheben.

Dieser übersichtlichen Angabe sämtlicher Functionen des trigeminus fügen wir folgende einzelne Bemerkungen bei:

α) Zur Ausmittlung der Functionen dieses Nerven bedient man sich der Methode der Durchschneidung innerhalb der nicht geöffneten Schädelhöhle. Diese Methode, welche man auch an andern Nerven geübt hat, ist jedoch nur an dem n. trigeminus mit einiger Sicherheit auszuführen. Man dringt zu diesem Zweck mittelst des Neurotoms bei Säugthieren vor dem Ohre, etwa in gleicher Höhe mit dem Jochbogen ein, führt das Instrument auf der innern Fläche des großen Keilbeinflügels hin und durchschneidet dann den Nerven, indem man die Schneide nach hinten und unten richtet. Doch ist man immer der Gefahr starker Blutungen ausgesetzt. Bei Fröschen durchschneidet man ihn nach Budge von der Mundhöhle aus. Nach Trennung der Schleimhaut des Gaumens dringt man mit einer nur 1 bis 1½ Linien weit geöffneten Scheere am innern, hintern Winkel der orbita ein und drückt hierauf die Scheere zu, wobei dann der musculus sustentator bulbi und der trigeminus, letzterer gewöhnlich im ganglion Gasseri, durchschnitten werden.

β) Aus Experimenten an Thieren, denen man den Schädel aufgebrochen und bei denen man getrennt die beiden Wurzeln des trigeminus reizte, ergibt sich, daß alle oben genannten Muskeln ihre Zweige von der kleineren Wurzel bekommen und daß die gröfsere keine motorischen Elemente im gewöhnlichen Sinn des Wortes enthält. Wegen dieses und des anatomischen Verhaltens, daß sich das ganglion Gasseri vorzugs-

weise an die große Wurzel anschließt, hat man ihn als den Rückenmarksnerven analog betrachtet. Freilich würde erst noch nachzuweisen sein, daß der Einfluß des ersten Astes des trigeminus auf die Thränensecretion kein motorischer sei.

γ) Der Einfluß des trigeminus auf die *Pupillenbewegung* zeigt sich darin, daß unmittelbar nach Durchschneidung des Nerven die Pupille enger wird und in diesem Zustand kürzere oder längere Zeit beharrt. Früher erklärte man diese Erscheinung aus einem auf den n. oculomotorius ausgeübten Reflex. Allein nach Budge soll die Verengerung auch dann noch statt finden, wenn vorher der oculomotorius durchschnitten worden ist*). Ist letztere Angabe richtig, so ist der erwähnte Vergleich des n. trigeminus mit einem Rückenmarksnerven gänzlich unstatthaft.

δ) Sein Einfluß auf die *Speichelsecretion* macht sich kenntlich, theils dadurch, daß nach seiner Durchschneidung die Speichelsecretion sich verlangsamt und aufhört**), theils dadurch, daß man durch künstliche Reizung vermehrtes Ausfließen des Speichels aus dem ductus Whartonianus und Stenonianus hervorrufen kann***).

ε) Man hat die Frage aufgeworfen, ob der ramus lingualis auch *Geschmacksempfindungen* vermittele, oder ob er nur dem *Gefühl* der Zunge vorstehe. Alle bisher zur Erledigung dieser Frage angestellten Experimente und angezogenen pathologischen Erfahrungen haben dieselbe nicht gelöst. Für die Ansicht, daß beim Menschen die Geschmacksfunktion vom trigeminus zum Theil abhängt, sprechen außer der anatomischen Thatsache, daß der nervus glossopharyngeus, von welchem die Gegner dieser Ansicht die Geschmacksempfindung ableiten, noch nicht bis zum vordern und untern Theil der Zunge, wo man doch nachweislich schmeckt, hat verfolgt

*) Siehe Canstatt's Jahresbericht der Biologie 1852, S. 197.

**) Vella : Gaz. méd. de Paris 1851, 31. Mai.

***) Ludwig und Rahn : Henle's Zeitschrift. Neue Folge, Bd. I, S. 258.

werden können, die chirurgischen Erfahrungen Lisfranc's, Hyrtl's und Parry's *), denen zu Folge bei Resectionen des Unterkiefers, welche von Durchschneidung des ramus lingualis begleitet waren, Gefühl und Geschmack der betreffenden Seite verloren gingen **).

§) Besonders auffallend sind die *Störungen in den Ernährungsvorgängen*, welche der Durchschneidung des trigeminus in all den von ihm versorgten Partien folgen. Die Conjunctiva des Auges trübt sich, im Innern des bulbus bildet sich Eiter und das Ganze schließt mit einer vollständigen Zerstörung des Auges. Das Zahnfleisch und die Schleimhaut der Nase sollen sich auflockern und zu Blutungen neigen. Nach Magendie's und Longet's Erfahrungen sollen die Störungen in der Ernährung viel auffallender und ausgedehnter sein, wenn die Durchschneidung des trigeminus an einer Stelle geschieht, wo er bereits das ganglion Gasseri passirt hat. Ebenso macht der Letztere auf pathologische Erfahrungen aufmerksam, denen zu Folge bei Lähmungen des quintus die Nutri-tionsverhältnisse fast ungestört waren. Man leitet dies in Uebereinstimmung mit Volkmann's und Bidder's Angaben, daß im ganglion Gasseri neue Fasern von Ganglienzellen ihren Ursprung nehmen, davon ab, daß die vom Hirn kommenden Fasern vorzugsweise die Empfindung und Bewegung, die im weiteren Verlauf des Nerven neu hinzukommenden vorzugsweise die Ernährung besorgen möchten. Doch bedürfen diese Angaben noch einer sorgfältigern Prüfung.

e) *nervus facialis*. Er ist unmittelbar nach seinem Austritt aus dem Hirn motorisch; dagegen wird er nach seinem Austritt aus dem foramen stylomastoideum sensibel befunden, woraus folgt, daß ihm auf seinem Verlauf empfindende Fasern aus fremder Quelle, dem trigeminus und vielleicht auch dem

*) Hyrtl, topographische Anatomie, 2. Aufl., S. 264.

**) Hierher gehört auch ein von Mayer beobachteter Fall. Diss. sistens paralyseos Nervi trigemini casum. Francofurti ad Moenum 1847; Gefühl und Geschmack der vordern Hälfte der rechten Seite verloren, trig. entartet, glossopharyngeus gesund.

vagus, zugeführt werden müssen. Der Beweis wird dadurch geführt, daß bei Thieren mit durchschnittenem trigeminus der n. facialis nach seinem Austritt aus dem Foramen stylomastoideum beim Durchschneiden keine Schmerzen erregt. Auch am Menschen beobachtete Thatfachen beweisen die rein motorische Natur des facialis. Bei Lähmungen, welche denselben getroffen hatten, war die Empfindung in der Verbreitungssphäre desselben nicht gestört, dagegen war bei Zerstörung des quintus keine Stelle mehr sensibel, wo sich facialis und trigeminus gemeinschaftlich verbreiten. Im einzelnen sind es nun folgende Muskeln, welche durch den n. facialis bewegt werden: m. stapedius, sämtliche Muskeln des äußern Ohres, der Stirn, mit Einschluss des corrugator und orbicularis, der Nase, des Gesichtes, des Mundes, hinterer Bauch des digastricus, stylohyoideus, buccinator, platysma, Muskeln des Kinnes. Ferner leitet die Erregung dieses Nerven die Speichelsecretion in der glandula parotis und submaxillaris ein; beim Kaninchen liegen die Fasern für die erstere in der Bahn der chorda tympani, welche dahin einen sich um das Kiefergelenk schlagenden Zweig gibt. Die Angaben über seine Einflüsse auf die Bewegungen einiger Gaumenmuskeln sind unsicher, selbst die neuern von Nuhn *), indem bei diesem die ausdrücklichen Angaben fehlen, daß man sich vor dem Eintreten unipolarer und paradoxer Zuckungen sicher gestellt habe. Ueber die Functionen der chorda tympani beim Menschen weiß man Nichts. Man stellt sich vor, daß die bei Lähmung des n. facialis vorkommenden Störungen des Geschmackssinnes auf einer Erregung oder Lähmung jenes Zweiges beruhen möchten; die zahlreichen Erfahrungen sehe man in der unten angegebenen Literatur **). Endlich wirkt er mehr indirect auf

*) Henle's u. Pfeuffer's Zeitschrift. Neue Folge. Bd. III, S. 129.

**) Descot: dissertation sur les affections locales des Nerfs. Paris 1825, pag. 331.

Montault: dissertation sur l'hémiplégie faciale.

Bernard: Recherches anatomiques et physiologiques sur la corde du tympan etc. Journal de l'anatomie 1843.

manche Sinnesfunctionen. Mit der Zeit vereitert das Auge, wenn auch nicht so heftig, als nach Durchschneidung des trigeminus, wahrscheinlich in Folge des steten Offenstehens der Augenlidspalte. Ebenso ist der Geruchssinn beeinträchtigt, indem die Bewegungen der Nasenlöcher aufgehoben sind, und bekanntlich nach Bidder's *) Bemerkungen die Gestalt und Stärke des Luftstroms von Einfluss auf die Function des Riechens ist. Auch der Gehörsinn erleidet, freilich in nicht ganz bestimmt angebbarer Weise, Störungen, wahrscheinlich in Folge des gelähmten musculus stapedius.

f) *nervus glossopharyngeus*. Er enthält die motorischen Elemente der mm. stylopharyngeus, constrictor faucium medius, levator palati mollis und azygos uvulae. Ob er dem Gefühl dienende Fasern führe, ist wahrscheinlich, jedoch experimentell noch nicht außer allem Zweifel gesetzt. Nur Valentin und Reid wollen Schmerzzeichen bei seiner Durchschneidung beobachtet haben. Volkmann's Beobachtung, zu Folge welcher nach Durchschneidung dieses Nerven vom hintern Dritttheil der Zunge, den Gaumenbögen und einem Theil des Schlundes keine Reflexbewegungen mehr hervorgerufen werden konnten, welche vor seiner und nach Durchschneidung des fünften Paares bestanden, beweisen nur seine Natur als Sinnesnerv im Allgemeinen, nicht aber die specielle als eines Gefühlsnerven. Schliesslich leitet er auf reflectorischem Wege vermehrte Speichelsecretion ein. Schon Stannius beobachtete, daß bei Katzen, denen man nach durchschnittenem trigeminus Chinin in Milch gibt, bei dem Versuche, sie zu genießsen, eine beträchtliche Menge Speichel entleert wird, welches aber nicht mehr eintritt, wenn auch der n. glossopharyngeus durchschnitten ist. Die vermehrte Speichelsecretion scheint hiernach die Folge eines durch den letzt genannten Nerven vermittelten Ekelgefühls zu sein. In

*) Artikel Riechen in Wagner's Handwörterbuch der Physiologie, Bd. II, S. 920.

neuerer Zeit haben Ludwig und Rahn*) auf eine directere Weise die eben angeführte Beziehung dargethan.

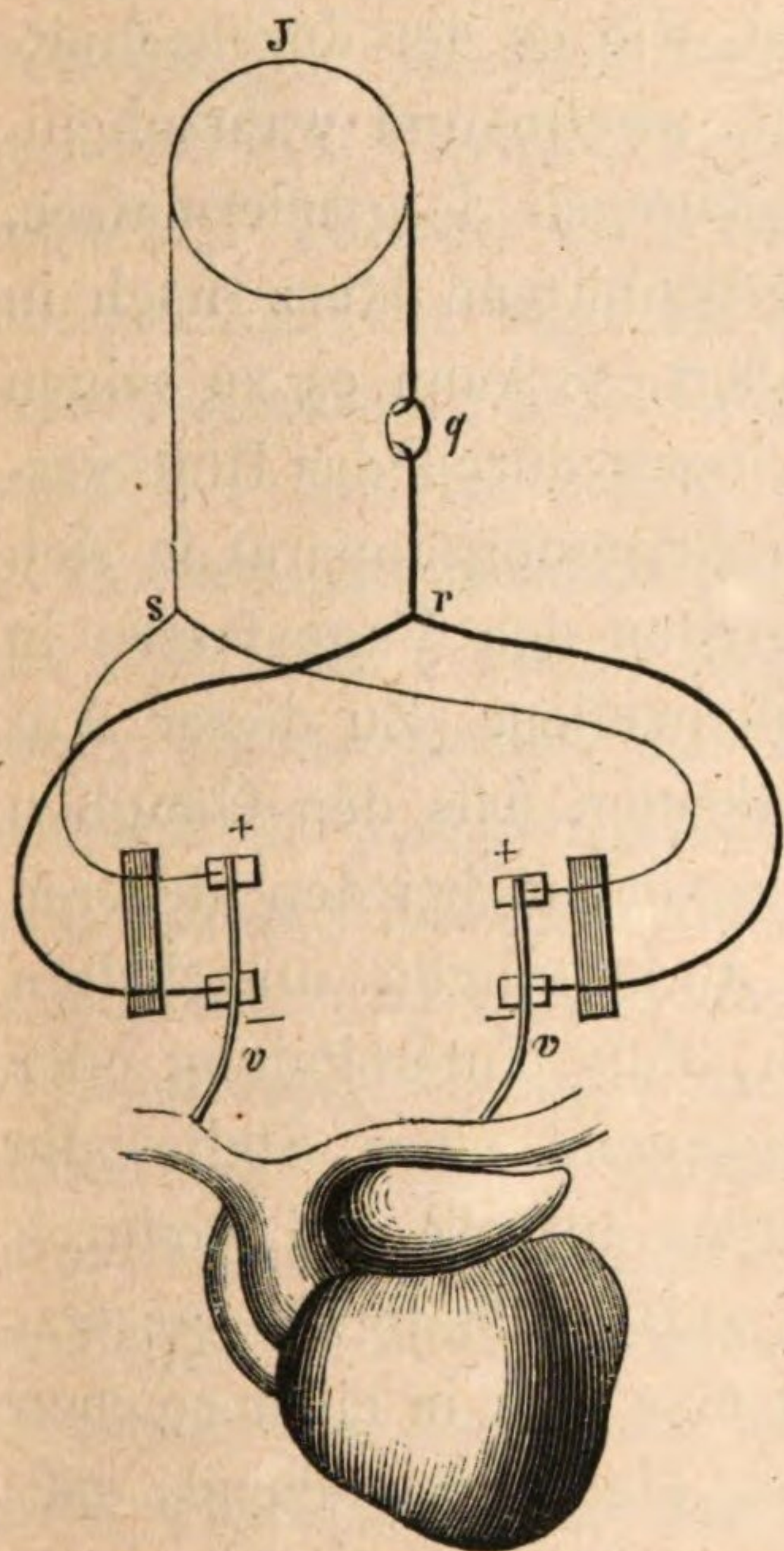
g) *nervus vagus und accessorius Willisii*. Aus der anatomischen Thatsache, daß der nervus vagus in ein Ganglion tritt, dagegen der n. accessorius demselben nur anliegt, dann aber beide Nerven durch Anastomosen mit einander in Verbindung stehen, hat eine oberflächliche Betrachtung eine Nichts sagende Analogie beider Nerven mit einem Rückenmarksnerven, wobei man den vagus als sensible und den accessorius als motorische Wurzel ansah, abgeleitet. Denn Bischoff und Reid haben gezeigt, daß der vagus bereits in seinen Wurzeln motorische Fäden führe; nämlich der mm. constrictor pharyngis supremus et infimus, levator palati, azygos uvulae, pharyngopalatinus, cricothyreoideus, cricoarytaenoideus posticus und lateralis, thyreohyoideus, oesophagus und Magen. Ebenso führt ein Theil seiner Ursprungsfäden auch sensible Elemente, indem seine Durchschneidung Schmerzen erzeugt; unbekannt sind aber noch die Flächen, auf denen diese sich ausbreiten. Den nervus accessorius anlangend, soll auch er empfindende Fasern führen und die motorischen folgender Muskeln enthalten: levator et tensor palati, azygos uvulae, mm. pharyngis et oesophagi, einige Kehlkopfmuskeln, sternocleidomastoideus und cucullaris. Gegen all diese, die motorischen Wirkungen des vagus und accessorius betreffende Angaben, läßt sich jedoch ein gewisser Zweifel nicht unterdrücken. Wegen der ungemein innigen anatomischen Beziehung, in welcher beide Nerven zu einander stehen, treten die oben S. 125 angeführten Bedenken in ihr volles Recht.

Wir haben jetzt noch mehre Functionen zu betrachten, welche dem am Hals aufgesuchten nervus vagus zukommen und von denen nicht immer mit Bestimmtheit gesagt werden kann, von welchem der beiden Nerven sie eigentlich abhängig sind; nämlich folgende:

α) *Einfluss des nervus vagus auf die Herzbewegung*. Unmittelbar nach Durchschneidung eines, besser aber nach der

*) Henle's Zeitschrift. Neue Folge. Bd. I, S. 285.

beider vagi, schlägt das Herz bedeutend schneller. Eduard Weber *) aber entdeckte, daß wenn die peripherischen Enden der durchschnittenen vagi oder der Hirntheile, von welchen sie entspringen, mit Inductionsapparaten gereizt werden, das Herz, je nach der Gröfse der stattfindenden Nervenenerregung, *langsamer schlägt oder in diastole still steht*. Bei guter Anordnung des Experiments und kräftigem Apparat setzt schon einseitige Vagusreizung das Herz in Ruhe. Soll die Methode der electrischen Erregung vorwurfsfrei sein, so muß die Anordnung so getroffen werden, daß nicht irgend ein Antheil des Stromes durch das Herz selbst seinen Weg nehme. Dies erreicht man leicht auf folgende Weise. Man spaltet, siehe die bei-



stehende, rein schematisch gehaltene Figur, eine jede Electrode *s* und *r* in zwei Theile und führt zu einem jeden vagus von je einem Pol einen Zweig und ordnet sie so an, daß an beiden vagi sich gleichnamige Pole gegenüber stehen. Um sich leicht zurecht finden zu können und um fehlerhafte Anordnungen zu vermeiden, bedient man sich für den einen Pol und seiner Zweige anders gefärbter Drähte, als für den andern. So wird jeder vagus von unterbrochenen Strömen durchsetzt, ohne daß Zweige derselben durch den Herzmuskel selbst gehen. An irgend einer Stelle *q* unterbricht man den Kreis durch einen Quecksilbernäpf, um nach Belie-

ben das Herz schlagen oder stille stehen zu lassen. Der auf diese Weise erzeugte Stillstand des Herzens ist nicht der elec-

*) Siehe dessen Artikel: Muskelbewegung, in R. Wagner's Handwörterbuch der Physiologie, S. 42.

trischen Erregung eigenthümlich, indem Reizung der vagi mit Kochsalz zu demselben Ziele führt. Diese hemmende Wirkung des vagus hat man sich auf verschiedene Weise zu erklären gesucht. Der einen Theorie zu Folge soll der n. vagus zu dem Herzen in derselben Beziehung stehen, wie jeder motorische Nerv zu seinem Muskel und es wird der durch Vagusreizung erzeugte Stillstand des Herzens als dadurch hervor gebracht angesehen, daß der Nerv gar bald überreizt werde und nun die Herzmuskeln nicht mehr zur Thätigkeit veranlassen könne. Diese Theorie ist unmöglich richtig, wie auch die bessern Physiologen längst erkannt haben. Denn ein überreizter Nerv ist gleich einem unwirksamen, und man begreift nicht, wie dann der überreizte vagus nicht das Herz ebenso gut sollte fortschlagen lassen, wie es der durchschnittene, vom Hirn getrennte thut. Die zweite und wahrscheinlich richtige Theorie argumentirt dagegen folgendermaßen. Da das aus dem Thierleibe herausgeschnittene Herz noch in seinem gewöhnlichen Typus fortschlägt, so kann es zu seinen Bewegungen weder durch das Hirn, noch durch das Blut veranlaßt werden, sondern muß seinen Erregungsapparat in sich selbst besitzen. Man findet diesen in den den Vagusfasern in der Herzsubstanz anliegenden Ganglienzellen. Zu dieser Annahme berechtigt nicht nur die Erfahrung, daß den Ganglien besondere, erregende Kräfte inhäriren, indem bei den niederen Thieren nur durch sie allein die Bewegungen unterhalten werden, sondern auch der Versuch, daß Unterbindung oder Durchschneidung des Vorhofes an irgend einer Stelle die rhythmischen Contractionen des Herzens aufhebt und wodurch nachweislich eine Menge Ganglien außer Thätigkeit gesetzt wird *). Die Vagusfasern nun denkt man sich in einer solchen eigenthümlichen Beziehung zu jenen Ganglien stehend, daß

*) Man vergleiche: Stannius: Zwei Reihen physiologischer Versuche. Müller's Archiv, 1852, S. 95 und

Bidder: Ueber functionell verschiedene und räumlich getrennte Nervencentra im Froschherzen. Ebendasselbst S. 163.

ihre Thätigkeit, etwa nach Art einer reflectorischen, die Kräfte der Ganglien aufser Wirksamkeit setzt. Eine besondere Stütze erhält diese Ansicht gegenüber der vorigen noch dadurch, daß bei Reizung mit Kochsalz nicht einzelne Fibern des Herzmuskels nach einander zucken, wie es der Fall mit jedem andern Muskel ist, wenn man seinen Nerven auf dieselbe Weise erregt, sondern daß der ganze Herzmuskel sich in toto immer langsamer zusammenzieht und endlich in diastole ruht. Auf den ersten Blick scheint eine analoge Nervenwirkung im ganzen Gebiet der Neurologie nicht zu existiren, wir werden aber eine solche sogleich kennen lernen.

β) *Einfluss des nervus vagus auf die Athemfunctionen.* Durchschneidet man beide vagi, so werden plötzlich die Athembewegungen auffallend langsamer, indem sie bis auf ein Drittel, ja selbst ein Viertel der gewöhnlichen Anzahl herabsinken. Bei manchen Thieren wird während und noch kurze Zeit nach der Section der vagi die Stimmritze in Folge der gereizten Kehlkopfmuskeln geschlossen, und es erfolgt bald Erstickungstod; bei andern behält sie die für den Durchgang eines gewissen Luftquantums gehörige Weite, die Thiere überleben die Operation 6 bis 10 Tage, sterben aber dann in der Regel unter pathologischen Erscheinungen der Lunge, indem sich nämlich die Lungenbläschen nach und nach mit einer eigenthümlichen Flüssigkeit füllen, die Athmungsvorgänge dadurch erschweren und zuletzt unmöglich machen. Ob diese abnorme Absonderung vorzugsweise oder allein bedingt ist durch die durch die gelähmte glottis fallenden Speisereste, oder durch eine veränderte Thätigkeit der Lungencapillaren, sei es theils in Folge des beschleunigten Herzschlages, theils der gelähmten Gefäßsnerven, kann man nicht mit Sicherheit sagen. Man hat auch behauptet, daß der nervus vagus auf in den Lungen vorhandene Muskelfasern wirke. Um dies darzuthun, band man in die Luftröhre eines Thieres ein mit Wasser gefülltes Manometer und reizte die n. vagi. Eine Erhebung der Wassersäule deutete eine durch Zusammenziehung contractiler Gebilde hervorgerufene Verengerung der Lungenhöhle an. Allein die von den verschiedenen Beobachtern: Willis,

Volkman, Donders gemachten Angaben stimmen nicht mit einander überein; aber selbst wenn dies auch der Fall wäre, würden sie es immerhin noch zweifelhaft lassen, ob die Muskelfasern der trachea, bronchien etc., oder die Lungenbläschen selbst, in welchen freilich die besten Histologen keine Muskelfasern vorkommen lassen, sich zusammengezogen hätten.

Da nach durchschnittenen vagis die Athembewegungen langsamer werden, so muß man annehmen, daß die vagi zu der medulla oblongata, welche die Athemnerven incitirt, in einer solchen Beziehung stehen, daß sie derselben fortwährend Anstöße zur Erregung der Athemnerven ertheilen. Doch muß man sich hüten, die Athembewegungen überhaupt als *bedingt* durch die vagi anzusehen, d. h. sie als Reflexbewegungen zu betrachten, indem dieselben nach der Section der vagi, wenn auch in einem andern Rhythmus, noch fortbestehen. Daher wurden auch S. 98 die Athembewegungen als automatische bezeichnet. Aus dieser Vorstellung folgt, daß wenn die centralen Enden der durchschnittenen vagi gereizt werden, die Athembewegungen sich wieder beschleunigen müssen. Das Experiment bestätigt dies, wenigstens so lange, als die Reizung eine gewisse, numerisch nicht näher anzugebende Intensität übersteigt. Wird diese Bedingung nicht inne gehalten, werden beide vagi gleichzeitig intensivern, electrischen Reizen ausgesetzt, so stellt das Centralorgan der Athembewegungen seine Thätigkeit ein, letztere sistiren und zwar, wie es scheint, in der Form der Expiration oder wenigstens in einer derselben nahen. Man beobachtet nämlich, daß das Zwerchfell einen Stand einnimmt, wie derselbe einer mäßigen Expiration entspricht, welches bei Kaninchen nach Entfernung der Haut an der Stellung des acuten Randes der Leber erkannt wird. Diese Wirkung ist ähnlich der des gereizten vagus auf die Herzganglien. In beiden Fällen hängen von der automatischen Erregung der Centralorgane gewisse Bewegungen ab: hier von den Erregungen der medulla oblongata die Athembewegungen in ihrer zeitlichen Folge, dort von den Ganglien des Herzens die Bewegungen des Herzens gleichfalls

in derselben. Hier wird durch Erregung, die Reizung der centralen Enden der vagi, die medulla oblongata veranlaßt, ihre Thätigkeit betreffs der von ihr abhängigen Athemnerven einzustellen, dort hat eine Erregung von zu dem automatischen Centralorgane des Herzens gehenden Nerven, die Reizung der peripherischen Enden der durchschnittenen vagi, ein Gleiches zur Folge. Man kann gegen diesen Vergleich nur einwenden, daß bei dem Stillestehen der Athembewegungen eine bestimmte Muskelgruppe, die Exspiratoren, sich in dauernder Contraction befinden und folglich die medulla oblongata ihre Erregungen *nicht* eingestellt habe. Dies mag sein; allein sie hat zum mindesten das *Eigenthümliche* ihrer Erregungen, das *Rhythmische* aufgegeben und die *Inspiratoren gelähmt*. Hätte das Herz zwei sich einander entgegenwirkende Muskelgruppen, wie der Athmungsapparat, vielleicht würde es auch in systole bei Vagusreizung beharren. Jedenfalls also steht der Herzstillstand nach Vagusreizung in dem Sinne der von uns angenommenen Hypothese nicht ohne Analogie da, indem sich zeigen läßt, daß auch ein anderes Centralorgan, wenn die zu ihm gehenden Nerven gereizt werden, den gewohnten Gang seiner Thätigkeiten aufgibt.

γ) *Einfluss des nervus vagus auf die Vorgänge bei der Verdauung*. Es ist bereits erwähnt worden, daß man durch Reizung des vagus Contractionen in der Muskulatur des Magens hervorrufen könne*). Doch ist jener nicht allein der bewegende Nerv des Magens, indem nach seiner Durchschneidung noch Fleischstücke, welche durch Fistelöffnungen in den Magen gebracht waren, nach Schmidt und Bidder**) in das duodenum transportirt wurden. Es ist wahrscheinlich, daß von Ganglienkugeln entspringende Fasern einem Theil der Bewegungen vorstehen. In Beziehung auf den eigentlichen, *chemischen* Proceß des Verdauens hat man die Wirkung des vagus dahin feststellen wollen, daß nach seiner Durchschneidung der Magensaft in geringerer Menge abgesondert werde und seine

*) Nach Bischoff besonders deutlich bei Hunden.

**) Bidder und Schmidt, die Verdauungssäfte und der Stoffwechsel.

saure Reaction und verdauende Kraft verliere. Allein aus von Bidder und Schmidt*) angestellten Untersuchungen scheint zum mindesten hervorzugehen, daß man seine Wirkung in dieser Beziehung zu hoch angeschlagen habe. Was die *verminderte Menge* des Secretes anlangt, so hat sich nach diesen ergeben, daß sie nicht *constant* nach Vagussection beobachtet wird und sich aus der mehr oder weniger verminderten Wasserzufuhr in Folge des durch den gelähmten Oesophagus zurückgehaltenen Speichels erklären läßt, indem in solchen Fällen nach Wasserinjection durch Magen fisteln wieder eine reichliche Secretion eintritt. In gleicher Weise verhält es sich mit der sauren Reaction des Magensaftes; zwar fehlt sie niemals, wie nach Frerich's Angaben, gänzlich, tritt aber bei Wassermangel zurück. Was seine verdauende Kraft betrifft, so ist sie in der That nicht unerheblich herabgesetzt, aber wohl nur in Folge der geringern, abgesonderten Menge. Kurz, es ist eine qualitativ und quantitativ veränderte Beschaffenheit des Magensaftes nicht zu leugnen, aber dieselbe ist nicht nothwendig auf eine specifische Nervenwirkung zu beziehen, sondern läßt sich, ohne den Thatsachen besondern Zwang anzuthun, als eine reine Folge der die Vagussection begleitenden Umstände betrachten. Ob der vagus die Gefühle des Hungers und Durstes vermittele, ist noch nicht erwiesen. Die Beobachtungen, denen zu Folge Hunde mit durchschnittenen vagis noch reichliche Nahrung zu sich nehmen, beweist Nichts gegen jene Ansicht, indem die Begierde zu fressen auch dem bloßen Anblick der Speisen entsprungen sein kann.

h) Der *nervus hypoglossus* ist unmittelbar nach seinem Austritt aus dem Hirn motorisch und wird erst in seinem spätern Verlauf durch Fasern aus ihm ursprünglich fremden Quellen sensibel. Er versorgt folgende Muskeln: styloglossus, hyoglossus, genioglossus, lingualis, thyreohyoideus, sternohyoideus, sternothyreohyoideus und omohyoideus. Die Bedeutung seines *ramus cardiacus* ist unbekannt.

*) l. c. S. 90.

B. *Das Rückenmark und seine Nerven.*

Wenn man die Functionen des Rückenmarks mit denen des Gehirns vergleicht, so ergibt sich der allerdings nicht unbeträchtliche Unterschied, daß dem ersteren die psychischen Thätigkeiten des letztern abgehen; immerhin aber ist es noch die Ursache einer Summe von Erscheinungen, welche ihm seinen Charakter als Centralorgan hinlänglich sichert.

1) *Ein großer Theil der der willkührlichen, motorischen Erregung und der Empfindung zu Grunde liegenden Erregungen müssen ihren Weg durch das Rückenmark nehmen; nämlich alle diejenigen, welche durch die Rückenmarksnerven vermittelt werden.* Diese Bemerkung veranlaßt die Physiologie zur Behandlung folgender Fragen :

a) *Verlaufen die Fasern der peripherischen Nerven, wenn sie in das Rückenmark eintreten, in diesem continuirlich bis zum Gehirn und dort bis zu den Organen des Willens, oder finden sie schon innerhalb des Rückenmarks an gewissen Stellen ihr Ende und welcher andern Mittelglieder bedient sich für diesen Fall das Hirn?* Man hat in dieser Beziehung zwei Hypothesen aufgestellt : die vom *cerebralen* und die vom *medullaren* Ursprung der Nervenfasern. Die Vertreter der letztern Ansicht bringen folgende Gründe : Wenn die Nervenfasern sämmtlich ihren Ursprung vom Gehirn nähmen, müßte das Rückenmark die Form eines Kegels mit dem Hirn zugewandter Basis besitzen; dies findet aber nicht statt, vielmehr ergibt sich, daß an all den Stellen, wo größere Mengen peripherischer Nerven aus ihm heraustreten, es in seiner Dicke anschwillt und die Größe dieser Anschwellungen im Allgemeinen der Anzahl der abgehenden Nerven proportional ist. Auch der einzelne Umstand spricht für diese Ansicht, daß nach ihr der Verlauf des *nervus accessorius* sein Paradoxes verliert; denn es wäre doch in der That auffallend, daß dieser Nerv auf einem so weiten Umweg sich an den Ort seiner Bestimmung begeben sollte, da er nämlich, gemäß der Theorie vom cerebralen Ursprung, innerhalb des Rückenmarkes herunter und außerhalb desselben wieder in die Höhe ziehen müßte. Gegen diese Hypothese

ist von der Ansicht vom cerebralen Ursprung der Nerven aus, namentlich in der neuern Zeit von Kölliker*), Folgendes erwidert worden: Jene äußere Form des Rückenmarks ist nicht eine *nothwendige* Folge der letztern Hypothese, indem die Nervenfasern, sobald sie in das Rückenmark eintreten, sich beträchtlich verschmälern können, wie dies dann auch in der That nach Kölliker's Messungen der Fall ist. Mit Rücksicht hierauf und in Betracht, daß nur die *weiße* Substanz die Fortsetzungen der Nervenfasern enthält, findet aber nun wirklich eine Zunahme von unten nach oben statt und jene Anschwellungen beruhen nur auf einer Massenanhäufung der grauen Substanz. Dies weist Kölliker durch folgende Angaben nach. Es betrug der Querschnitt des weißen Halsmarks bei zwei Individuen $10\text{ }^{\text{'''}}\text{,}2$ und $14\text{ }^{\text{'''}}\text{,}6$, während die Summe der Querschnitte sämtlicher Nervenwurzeln $40\text{ }^{\text{'''}}$ resp. $45\text{ }^{\text{'''}}$ ausmachte. Als er aber das Verhältniß in Rechnung brachte, in welchem sich die in das Rückenmark eintretenden Fasern verschmälern, fand er $11\text{ }^{\text{'''}}$ und $12\text{ }^{\text{'''}}$, Zahlen, welche allerdings mit den am Halsmark gemachten Messungen leidlich stimmen. Was aber jenen sonderbaren Verlauf des nervus accessorius anlangt, so könnte dieser möglicher Weise durch die Entwicklungsgeschichte seine Erklärung finden, wie wir dies bereits für den ähnlichen Verlauf des ramus recurrens nervi vagi wissen**). So scheinen also, vom anatomischen Standpunkt aus betrachtet, die Thatsachen auf einen cerebralen Ursprung der Nervenfasern hinzuweisen. Die Physiologie darf jedoch, wenn sie vorsichtig sein will, dies Ergebniß nicht sofort zu dem ihrigen machen, da sich Mancherlei gegen die vorige Beweisführung beibringen läßt. Erstens finden wir bei Kölliker keine Angaben über die Methode, deren man sich zur Messung der Querschnitte bedient

*) Microscopische Anatomie, II, 1; S. 430 ff.

**) Frantzius, Beiträge zur Entwicklungsgeschichte des peripherischen Nervensystems. Zeitschrift für Zoologie von Kölliker und v. Siebold, III, S. 510.

hat; es scheint, dafs man auf irgend (welche?) Art die Durchmesser gemessen und aus ihnen die Querschnitte berechnet hat. Bekanntlich aber ist die Bestimmung der Querschnitte feuchter Objecte so schwierig, dafs man den Resultaten einer Methode, über deren Zuverlässigkeit keine Proben vorliegen, keinen Glauben beimessen darf; um so mehr, als die Physik aus guten Gründen für die Bestimmung kleiner Querschnitte cylindrischer Körper lehrt, dieselben aus dem specifischen Gewicht der betreffenden Substanz, dem absoluten Gewicht und der Länge eines gegebenen Stückes zu berechnen und als endlich die Nervenwurzeln nicht immer einen so genau kreisförmigen Querschnitt besitzen dürften, dafs man für dessen Berechnung die von Kölliker gebrauchte Formel stets zulässig finden könnte. Zweitens werden der Bestimmung des Verhältnisses, in welchem sich die in das Rückenmark eintretenden Fasern verschmälern, immerhin mancherlei Unsicherheiten ankleben bleiben. Drittens endlich beweist die Beobachtung, dafs der Querschnitt der weissen Substanz des Halsmarks eben so grofs ist, wie die Summe der Querschnitte aller Rückenmarksnerven den cerebralen Ursprung der letztern nur dann, wenn sie die *Continuität* der Fasern, also Das, was sie beweisen soll, voraussetzt; denn es kann eine gewisse Anzahl Nervenröhren im Rückenmark ihr Ende finden und innerhalb desselben eine gleich grofse Menge anderer an verschiedenen Stellen entspringen und nach dem Gehirn hinziehen. Diesen Bemerkungen zu Folge mufs man sagen, dafs bis jetzt durch keine anatomische Thatsache weder die eine noch die andere Theorie besonders gestützt wird. Zieht man physiologische Experimente zu Rathe, so scheinen diese im Sinne der Theorie vom, wenn nicht gänzlichen, doch theilweisen, medullaren Ursprung zu sprechen. Engelhard *), Harlefs **) und du Bois-Reymond ***) machen nämlich, abgesehen von eini-

*) Müller's Archiv, 1841, S. 206.

**) Daselbst, 1846, S. 74.

***) Untersuchungen über thierische Electricität, Bd. I, S. 327.

gen kleinen Abweichungen untereinander, die übereinstimmende Angabe, daß wenn man an decapitirten Fröschen das Rückenmark, von oben nach unten fortschreitend, mechanisch oder mit Kochsalz reizt, man etwa bis zur Gegend des vierten Wirbels nur Beugungen der Bauchglieder mit mehr klonischem Charakter beobachtet, daß dagegen bei Reizung von da an weiter abwärts immer tetanisches Strecken erfolgt. Dies scheint, da bei gleichzeitiger Erregung aller zu den Bauchgliedern gehender Nerven immer ein tetanisches Strecken der Erfolg ist, anzudeuten, daß wenigstens nicht alle für die Streckung bestimmte Fasern bis zum Gehirn aufsteigen. Wir bemerken aber ausdrücklich, daß die genannte Beobachtung nicht die volle Beweiskraft besitzt, indem dieselbe noch anderer Deutungen fähig ist; denn man kann außer der etwas unwahrscheinlichen Annahme, die Nervenfasern möchten an verschiedenen Stellen ihres Verlaufs innerhalb des Rückenmarks eine mehr oder minder große Erregbarkeit besitzen, noch die machen, daß reflectorische Wirkungen hier mit im Spiele seien. Zwar findet die Theorie vom cerebralen Ursprung es immerhin äußerst einfach und verständlich, sich vorzustellen, daß das Hirn nur mittelst anatomisch continuirlich verlaufender Fasern auf die Glieder wirke und von dort die Eindrücke empfangen. Da aber die Reflexbewegungen beweisen, daß innerhalb des Rückenmarks ohne Mitwirkung des Gehirns sich von einer Faser auf andere Erregungen übertragen können, ohne daß ein anatomischer Zusammenhang zwischen jenen besteht, so ist kaum einzusehen, was es, gegenüber diesen nicht wegzuleugnenden Thatsachen, Unverständliches hat, sich zu denken, daß die Bewegungen eines wollenden Hirnmoleküls sich auf eine motorische Faser durch Zwischenglieder übertragen, welche nicht directe Fortsetzungen derselben sind. Also auch die Physiologie muß sich bis jetzt nicht im Besitz der Mittel zu sein erklären, mit deren Hülfe sie die eine oder andere Ansicht als eine Ueberzeugung aufdringen könnte. Hiernach bedarf es wohl kaum noch der Bemerkung, daß die Theorie vom medullaren Ursprung der Nervenfasern von den Zwischengliedern zwischen jenen und dem Hirn nicht die min-

deste Kenntnifs habe. Man nimmt häufig an, dafs zwischen den eigentlichen peripherischen Nerven und den Organen des Willens noch andere Fasern eingeschoben seien, deren Gesammtheit unter dem Namen des *intermediären Fasersystems* bekannt ist.

Uebrigens scheint mir, trotz der etwas weitläufigen Mittheilungen, welche nur gemacht wurden, um dem Anfänger die hierher gehörigen Thatsachen zur Kenntnifs zu bringen, die obige Frage gar nicht den Werth zu besitzen, den man ihr beizulegen gewöhnlich geneigt ist. Da wir nämlich von denjenigen Hirnmassen, welchen der Wille, überhaupt das psychische Leben inhärirt, ganz und gar Nichts wissen; so kann auch gar kein besonderer Vortheil für unsere weitere Kenntnifs daraus erwachsen, wenn wir die Wege (Nerven), auf denen wir den Aeufserungen des psychischen Lebens begegnen, um einen Theil weiter führen, um dann schliesslich die Frage nach den Mittelgliedern, deren sich das Willensorgan zur Uebertragung seiner Processe auf die Nervenfasern bedient, unbeantwortet zu wiederholen.

b) *Welche Anordnung haben die motorischen und sensibeln Elemente bei ihrem Eintritt in das Rückenmark und innerhalb desselben?* α) *Die Nervenwurzeln.* Alle Rückenmarksnerven nehmen mit zwei Wurzeln ihren Ursprung. In der *hintern* sammeln sich stets nur *empfindende*, in der *vordern* nur *bewegende* Nervenfasern. Diese Thatsache wurde von Bell entdeckt und wird daher gewöhnlich das *Bell'sche Gesetz* genannt. Seine Richtigkeit ist später noch besonders durch Magendie, Joh. Müller, Panizza und Valentin dargethan worden. Man mufs indess auf mancherlei Bemerkungen, welche sich dagegen vorbringen lassen, gefasst sein. Die wichtigste unter ihnen ist die Behauptung, dafs jenes Gesetz nicht durchgreifend sei, indem man annehmen dürfe, dafs die dem Muskelsinn dienenden Nerven innerhalb der vordern Wurzeln in das Rückenmark eindringen *). So wenig Grund man hat, dies

*) Arnold : Ueber die Verrichtungen der Wurzeln der Rückenmarksnerven. Heidelberg, 1844.

zu glauben und so beweislos die Experimente sind, auf welchen dieser Ausspruch gegen Bell's Gesetz ruht; so muß man doch zugeben, daß bis jetzt auch eine gründliche Widerlegung jener Bedenklichkeit nicht gegeben ist. Zwar beobachtete Panizza *), daß bei einer Ziege, welcher die hintern Wurzeln der vier letzten Lenden- und der drei ersten Kreuzbeinnerven durchschnitten waren, die Bewegungen mit einem gewissen *Ungeschick* fortbestanden, woraus man schließen könnte, daß dem Thier das Muskelgefühl gemangelt habe; allein es wird wohl Niemand leugnen, daß, da unsere Bewegungen vielfach durch die Functionen unserer Sinnesorgane mitbestimmt sind **), bei ihrem theilweisen Mangel, wie hier des Gefühls, jene unsicher werden. Der fragliche Punkt kann nur durch sorgfältige, pathologische Beobachtungen am Menschen erledigt werden; wenn es sich nämlich einmal ereignen sollte, zu beobachten, daß bei einer ausgedehnten Zerstörung der vordern oder hintern Wurzeln der Muskelsinn in den betreffenden Theilen fortbestanden hätte oder in Wegfall gekommen wäre. Ein anderer Einwand, welcher freilich nur noch von dem Unkundigen der Lehre Bell's gemacht werden könnte, ist das Nichtbestehen gewisser Folgerungen, welche sich aus demselben ableiten lassen. Man schließt: wenn die hintern Wurzeln nur der Empfindung, die vordern nur der Bewegung dienen; so muß es unmöglich sein, weder durch Reizung der *peripherischen* Enden durchschnittener, *sensibler*, noch durch solche der *centralen* durchschnittener, *motorischer* Nervenwurzeln, Bewegungen auszulösen; diese Ableitung aber bestätigt sich nicht und folglich hat es mit dem genannten Gesetz nicht seine volle Richtigkeit. Um diese Thatfachen, welche scheinbar dem Bell'schen Gesetze zuwider sind, zu beobachten, muß man sich der electrischen Reizung bedienen und mit starken Stromeskräften arbeiten. Diese Bemerkung

*) Versuche über die Verrichtungen der Nerven, übersetzt von Schemann.

**) Siehe oben S. 122.

deutet an, daß sich jene wohl als uns bereits bekannte, electriche Reizungsphänomene möchten erkennen lassen. In der That : Alle sensibeln Wurzeln liegen von ihrem Eintritt in die foramina intervertebralia an auf eine Strecke den motorischen Wurzeln entlang und die auf Reizung der erstern entstehenden Bewegungen sind die uns bereits geläufigen *paradoxen* Zuckungen*); ebenso liegen die motorischen Fasern nachbarlicher Nerven unmittelbar nach ihrer Einsenkung in das Rückenmark nicht sehr weit von einander entfernt, und wenn man daher das centrale Ende einer durchschnittenen, motorischen Wurzel der electriche Reizung unterwirft, sind alle Bedingungen zur Entstehung paradoxer Zuckungen gegeben. *β) Der Verlauf der Nervenerregungen im Rückenmark selbst.* Dieser ist nur in seinen allergrößten Zügen bekannt. Da die sensibeln Wurzeln in die hintern, die motorischen in die vordern Stränge eintreten, so läßt sich vermuthen, daß in den Hintersträngen sich die sensibeln, in den Vordersträngen die motorischen Elemente befinden. Versuche bestätigen dies, sobald man nur die anatomischen Ausdrücke Hinter- und Vorderstränge durch hintere und vordere Rückenmarkshälfte ersetzt; denn es muß als unmöglich angesehen werden, bei Vivisectionen gewisse Rückenmarkstheile im Sinne der Anatomen zu durchschneiden und die Wirkung einer solchen Operation sich nicht weiter als auf die durchschnittenen Elemente erstrecken zu lassen. Jene Versuche aber bestehen darin, daß bei Durchschneidung der hintern Hälfte lebhaftes Schmerzensäußerungen, namentlich bei höher stehenden Thieren, beobachtet werden, während bei Durchschneidung der vordern, in abwärts von der Schnittstelle gelegenen Theilen die lebhaftesten Bewegungen auftreten und alle Charaktere der reinen Reizbewegung an sich tragen. Häufig treten auch im ersten Fall Bewegungen auf, allein sie ergeben sich immer bei näherer Untersuchung entweder als willkührliche oder reflectorische. Mit diesen Erfahrungen sind pathologische Beobachtungen am

*) Siehe oben S. 76.

Menschen in Uebereinstimmung. Bei weit um sich greifenden Verletzungen der hinteren Rückenmarksabtheilungen ist die ganze Haut, welche ihre Nerven vom Rückenmark unterhalb jener Stelle erhält, gefühllos, dagegen bei solchen der vordern büßen die betreffenden Glieder ihre Bewegung ein. Fragt man indeß genauer nach den Wegen, welche die Nerven-erregungen innerhalb des Rückenmarks vom Gehirn oder bis zu demselben nehmen; so lassen sich diese nicht Schritt für Schritt darlegen. Nur das kann man mit Gewißheit behaupten, daß weder die motorische noch die zu empfindende Erregung, diese bis zu ihrem letzten Ende, jene von ihrem ersten Anfang an, *auf der Seite des Körpers verbleibt, auf welcher sie geschieht*, daß mithin höchst wahrscheinlich alle Erregungen an irgend einer Stelle *die Medianebene des Cerebrospinalorgans passiren*. Dies folgt zunächst aus den S. 119 u. 125 mitgetheilten Erfahrungen. Die Anatomie und physiologische Experimente weisen gleichfalls die Thatsache der Kreuzung nach, wenn auch nicht in dem Umfang, in welchem man sie nach den angezogenen Beobachtungen voraussetzen möchte. Die erstere lehrt, daß jede motorische Wurzel ihren Ursprung nimmt zum Theil von der vordern Partie der Seitenstränge, zum Theil von dem Vorderstrang der entgegengesetzten Seite, daß gemäß manchen microscopischen Präparaten auch eine theilweise Kreuzung der sensibeln Wurzelfäden *wahrscheinlich* ist, und daß endlich am obern Theile des Rückenmarks auch noch die Seitenstränge an der als *decussatio pyramidum* bekannten Stelle eine Kreuzung eingehen. Was die am Rückenmark angestellten Experimente anlangt, so weichen sie in ihren Resultaten vielfach von einander ab. Experimente von van Deen, Stilling, Eigenbrod und Köl liker stimmen darin überein, daß bei Durchschneidung einer Rückenmarkshälfte willkührliche Bewegung und Empfindung in der Extremität derselben Seite unterhalb des Schnittes fortbestand, welche Versuche Eigenbrod noch von dem Verdacht gereinigt hat, jene Bewegungen möchten Reflexbewegungen sein, indem sie nach ihm auch dann noch fortbestehen, wenn die sensibeln Wurzeln der verletzten Seite durchschnitten

sind *). Von diesen Beobachtungen sind jedoch nur diejenigen in Uebereinstimmung mit dem anatomischen Befund, denen zu Folge bei halbseitiger Durchschneidung auf *beiden* unterhalb des Schnittes gelegenen Seiten *unvollkommene Lähmung*, doch *größer* auf der dem Schnitt *zugehörigen* Seite, beobachtet wird, wie solche Angaben von Kölliker **) für das Kaninchen, von Eigenbrod für den Hund existiren. Volkmann's Angaben weichen von den vorigen dahin ab, daß er bei Durchschneidung einer Seitenhälfte stets nur Lähmung auf *derselben* Seite beobachtete. Vielleicht erklärt sich diese Abweichung dadurch, daß er zu nahe der Abgangsstelle der Nerven die Durchschneidung ausführte.

2) *Das Rückenmark enthält automatische Erregungsstellen.* Wenn es wahr wäre, daß es einen *Muskeltonus* gebe, d. h. daß alle Muskeln, so lange sie mittelst lebendiger Nerven in Verbindung mit einem Centralorgan sind, sich in einem andauernden Zustand mässiger Contraction befänden; so würde man ohne Weiteres dem Rückenmark unbestritten selbst erregende Eigenschaften zuschreiben müssen. Allein eine genauere Kritik der zum Beweise eines Muskeltonus angeführten That-sachen stellen zum mindesten denselben in Frage. Die Enden durchschnittener Sehnen von Muskeln weichen von einander, aber, wie Ed. Weber bemerkt, nur in Folge der elastischen Kräfte; daher macht man diese Beobachtung auch nur an ausgedehnten Muskeln, ganz gleichgiltig, ob der betreffende Muskelnerv noch mit dem Rückenmark in Verbindung ist, oder nicht. Bei einseitiger Lähmung wird der Körper schief; man ist aber nicht gezwungen, dies Schiefwerden als die Folge eines bestehenden Muskeltonus anzusehen, indem zur Erklärung dieser Erscheinung die willkührliche Contraction vollkommen ausreicht. Geköpfte Frösche nehmen bei noch lebendigem Rückenmark immer eine sitzende Stellung ein. Mit dieser Thatsache ist Nichts anzufangen; denn jene ist die

*) Ueber die Leitungsgesetze im Rückenmark.

**) Microscopische Anatomie, II. Bd. 1. Abth, S. 439.

Folge reflectorischer Wirkungen, indem sie mit dem Durchschneiden der hintern Wurzeln wegfällt. Hall machte die Entdeckung, daß der geschlossene sphincter ani einer Schildkröte das vom Schlund aus in den Darm injicirte Wasser erst abfließen liefs, nachdem das Rückenmark zerstört worden war und bezieht diese Erscheinung auf einen durch das Rückenmark in jenem Muskel unterhaltenen Tonus. Ist in dieser Beobachtung kein Fehler untergelaufen, so würde sie für die Existenz eines Tonus in diesem Muskel allerdings als ein Beweis anzusehen sein. In Bezug auf den Menschen liegen gleichfalls diesen Punkt betreffende Angaben vor, allein sie lassen verschiedene Deutung zu. Es sind Fälle bekannt, bei denen in Folge einer Läsion des Rückenmarks in der Gegend seines Hals- *), ja selbst seines Lendentheils **), bei vollkommener Lähmung der untern Extremitäten, der sphincter ani seine Dienste noch verrichtete. Aber wer die Contraction dieses Muskels von Stellen im Gehirn beherrschen läfst, hat ein Recht, die Annahme zu machen, daß die für jenen bestimmten Erregungswege nicht gestört waren. Andere Fälle melden, daß nach Trennung des Lendenmarks vom Gehirn unwillkürlicher Kothabgang erfolgte. Sie können aber nicht *gegen* den Tonus reden, da denkbar ist, es sei die für den Schließmuskel bestimmte Centralstelle im Rückenmark zerstört oder die Erscheinungen seien Reizungsphänomene gewesen.

Es gibt indess eine andere Gruppe von Erscheinungen, welche die Annahme automatischer Stellen im Rückenmark rechtfertigt, nämlich die Abhängigkeit des *Rhythmus* der Bewegungen der Lymphherzen der Frösche von demselben. Man muß sich aber wohl hüten, die Sache in der ursprünglich von Volkmann gegebenen Weise aufzufassen. Dieser entdeckte nämlich, daß wenn man die in der Gegend des

*) J. Vogel und Dittmar, Fall von Paralysis bedingt durch eine Exostose eines Halswirbels mit physiologischen Bemerkungen. Deutsche Klinik, 1851. Nr. 38, S. 535.

**) Axmann, Gangliennervensystem, S. 2.

zweiten und dritten Wirbels gelegene Rückenmarkspartie zerstört, die vordern, und wenn man dasselbe mit der in der Nähe des siebenten und achten gelegenen vornimmt, die hintern Lymphherzen zu schlagen aufhören. In Folge dieser Beobachtung betrachtete er jene Stellen als automatische und wies ihnen gleichen Rang mit der medulla oblongata an *). Es wurde jedoch später gezeigt **), daß dieses Stillstehen der Lymphherzen nur vorübergehend ist, daß dieselben, wenn sie namentlich vor dem Austrocknen geschützt werden, nach einiger Zeit wieder zu schlagen anfangen. Doch beobachtet man hierbei, daß der Modus des neuen Herzschlags nicht mit dem vor der Zerstörung der genannten Rückenmarksstellen übereinstimmt; denn die einzelnen Muskelbündel des Lymphherzens ziehen sich nicht mehr *gleichzeitig* zur Bildung eines Herzschlags zusammen, sondern mehr nacheinander, und so entsteht statt der frühern Schläge jetzt eine mehr oder weniger deutlich wallende Bewegung, so daß es den Anschein hat, als sei das Herz in mehrer Abtheilungen zerfallen. Ist daher auch das Rückenmark nicht der *Quell* der Bewegungen der Lymphherzen, so steht es doch dem *Rhythmus* derselben vor und man darf ihm daher wohl in dieser Beziehung automatische Stellen zuweisen. Es verhält sich mithin den Lymphherzen gegenüber etwa wie die medulla oblongata zu dem Blutherzen, insofern dieselbe mittelst der Vagusbahn diesem die Zahl seiner Schläge dictirt. Man ist gewöhnlich versucht, auch die Pulsationen des Caudalherzens des Aales als unter dem Einfluß des Rückenmarks stehend anzusehen; allein nach Hyrtl ***) soll jenes durch Zerstörung des letztern nicht in seiner Thätigkeit gestört werden.

*) Siehe dessen Artikel Nervenphysiologie in Wagner's Handwörterbuch der Physiologie, Bd. II, S. 489.

**) C. Eckhard, über das Abhängigkeitsverhältniß der Bewegungen der Lymphherzen der Frösche vom Rückenmark. Henle's und Pfeuffer's Zeitschrift, Bd. VIII, S. 24.

***) Müller's Archiv, 1843, S. 225.

3) *Es ist der Sitz reflectorischer Bewegungen.* Eines gesonderten Nachweises dieser Thätigkeit des Rückenmarkes bedarf es nicht, indem sich Jeder ohne Schwierigkeit nach den S. 99 ff. gemachten Bemerkungen davon überzeugen kann. Da wir hier ebenso wie bei dem Gehirn auf eine Lösung der Fundamentalfragen verzichten müssen; so haben wir uns nur auf eine Anführung der durch die Erfahrung gewonnenen Sätze zu beschränken, wobei jedoch diejenigen mehr allgemeineren Inhaltes, welche schon in dem Abschnitt über Reflexbewegungen überhaupt mitgetheilt worden sind, übergangen werden.

a) *Die Ausbreitung der durch das Rückenmark vermittelten Reflexbewegungen ist in hohem Masse durch den jedesmaligen Grad seiner Erregbarkeit bestimmt.* Dies ist eine Thatsache, welche Jedem, der sich auch nur ganz oberflächlich mit der Beobachtung von Reflexbewegungen beschäftigt, auf der Stelle auffällt. Man findet, daß auf eine in jeder Beziehung gleiche Reizung bei dem einen Thiere die Bewegung sich nur auf wenige Muskeln erstreckt, während sie bei dem andern eine unvergleichlich größere Anzahl erregt. Hierin liegt eine der Hauptschwierigkeiten, mancherlei Fragen über die reflectorischen Erscheinungen des Rückenmarks zu lösen. Es wird also für weitere Untersuchungen eine der ersten Aufgaben sein, eine Methode ausfindig zu machen, immer denselben Grad der Erregbarkeit herzustellen.

b) Trotz dieser Bemerkung darf man jedoch behaupten, *daß gewisse Hautstellen zu gewissen Muskelgruppen in einer nähern reflectorischen Beziehung stehen, als zu andern.* Dies ergibt sich daraus, daß auf niedern Stufen der Erregbarkeit des Rückenmarks auf die Reizung gewisser, in ihrer Ausdehnung beschränkter Hautstellen immer dieselben, nur wenige Muskeln ergreifende Bewegungen auftreten, überdies bei höhern Graden jener, wo mehr zusammengesetzte Bewegungserscheinungen zu Stande kommen, diese immer mit einer und derselben ihren Anfang nehmen. Bei Fröschen erfolgt auf Reizung der Haut des Rückens eine Krümmung der Wirbelsäule; ist das Thier wenig erregbar, so erfolgt keine weitere

Bewegung, ist das Gegentheil der Fall, so wird die Bewegung eine viel ausgedehntere, aber sie beginnt in *allen Fällen* mit der Zusammenziehung der die Wirbelsäule krümmenden Muskeln. Aehnlich verhält es sich mit der Reizung der Haut der Achselhöhle, indem zu dieser Stelle diejenigen motorischen Nerven in der nächsten Beziehung stehen, welche sich zu den Adductoren der Arme begeben. Bei Hunden und Katzen, vielleicht bei allen geschwänzten Säugethieren, erfolgt auf Reizung der Hautnerven des Schwanzes ein Beiziehen desselben.

c) *Die den Reiz dem Rückenmark zuführenden Fasern übertragen ihre Erregungszustände viel leichter auf die motorischen Fasern derselben, als auf die der entgegengesetzten Seite.* Diese Beobachtung ist jedoch nur an einem nicht besonders erregbaren Rückenmark zu machen.

d) *Die excitirenden Fasern liegen in den hintern, die bewegend in den vordern Wurzeln.* Der Beweis für diese Behauptung ist begreiflich leicht zu liefern. Wir fügen hiermit dem S. 105 für die Ansicht angeführten Grund, daß die der Empfindung und die als Excitoren der Reflexbewegung dienenden Fasern dieselben sind, den neuen hinzu, daß beide dieselbe anatomische Anordnung zum Rückenmark haben.

e) *Von den Hautverzweigungen aus lassen sich viel leichter und in ausgedehnterem Masse Reflexbewegungen hervorrufen, als von ihren Stämmen und sensibeln Wurzeln.* Wir wiederholen hier diesen, schon früher angeführten Satz, um jetzt die Bemerkung daran zu knüpfen, daß diese Thatsache vielleicht die S. 119 ausgesprochene Meinung unterstützt, es möchten, je nachdem sensible Nerven von ihren Endverzweigungen oder ihren Stämmen aus erregt werden, in ihnen differente Erregungen geschehen und einer jeden eine andere Centralstelle entsprechen; denn in Uebereinstimmung mit der eben genannten Erfahrung darf man sich vorstellen, daß entweder für beide Arten der Erregung der excitirenden Fasern dieselben reflectorischen Organe in verschiedener Weise angeregt werden, oder daß für jede ein anderes reflectorisches Centrum vorhanden ist.

f) *Von den sensibeln Nerven des Rumpfes aus lassen sich auch in von den Kopfnerven versorgten Theilen reflectorische Bewegungen hervorrufen.* Hierher ist unter andern zu zählen: unwillkührliches Schreien und Thränen der Augen bei heftigen Schmerzen.

g) *Auch auf contractile Organe, deren letzte Bewegungsursachen nicht im Rückenmark oder Hirn liegen, kann reflectorisch eingewirkt werden.* Unsicher sind die in dieser Beziehung gemachten Angaben, daß bei Reizung der Haut der hintern Extremitäten sich der Magen, der Darm und das Herz zusammenziehen, da wohl ohne Ausnahme bei derartigen Beobachtungen Bewegungen der Extremitäten u. s. w. auftreten und die Auffassung der Bewegungen der Eingeweide als reflectorische unmöglich machen. Wo aber ohne Bewegungen der Skeletmuskeln auf Reizung der äußern Haut Zusammenziehungen jener Organe wahrgenommen werden, ist es fraglich, ob sie, falls sie ächte reflectorische Bewegungen sind, durch Vermittelung des *Rückenmarks* und nicht etwa der *Ganglien* zu Stande gekommen sind *). Sicher dagegen ist die Beobachtung Müller's, daß man bei Schildkröten durch Reizung der Hinterbeine die Lymphherzen auf reflectorischem Wege in Bewegung setzen kann **).

h) Analog dem Vorigen lassen sich auch von *den Eingeweidenerven Reflexbewegungen in den willkührlichen Muskeln auslösen.* Manche der hierher gehörigen Bewegungen, namentlich die, welche von den Nerven des Magens, des Schlundes und der Leber aus erregt werden, scheinen ihr Centrum in der medulla oblongata zu haben, da sie nach Entfernung derselben ausbleiben. Für andere liegt es im Rückenmark, da nach den Angaben von Martino ***), welcher sich vor den Ein-

*) Mit Rücksicht auf diese Bemerkungen sind unter andern Valentin's Angaben, dessen Lehrbuch der Physiologie II, 2. S. 491 zu beurtheilen.

**) Dessen Archiv 1840, S. 3.

***) Esperienze su i movimenti riflessi del systema muscolare volontario determinati dalle irritazioni del gran sympatico. Napoli. 4.

flüssen der Hirntheile dadurch sicherte, daß er die Frösche unterhalb der Armnerven decapitirte, noch vorzugsweise vom plexus coeliacus und renalis sich Bewegungen der Extremitätenmuskeln sollen hervorrufen lassen. Ob die Beobachtung desselben, daß sich in diesen Fällen die quergestreiften Muskeln erst einige Zeit nach Eingriff des Reizes und langsamer, gleich den organischen zusammenziehen, richtig ist, muß vorerst dahin gestellt bleiben.

4) *Verbreitung der Spinalnerven.* Diese sind, wie bekannt, nach ihrem Austritt aus den foraminibus intervertebralibus gemischt. Die Verbreitung der *motorischen* Röhren zu ermitteln ist zwar bei Thieren nicht besonders schwierig, aber zeitraubend, da dieselben bald nach ihrem Austritt aus dem Rückenmark, namentlich in der Gegend der Extremitäten, mannigfache Verflechtungen eingehen und wegen des Eintrittes paradoxer Zuckungen die bequeme, electricische Reizungsmethode aufgegeben und zu einer andern geschritten werden muß. Eine methodische Untersuchung der Art ist bis jetzt noch an keinem Thiere ausgeführt worden, auch dürfte sich die darauf zu verwendende Mühe, wenn die Lösung dieser Aufgabe nicht anderer, physiologischer Fragen halber unternommen wird, nicht besonders lohnen. Hier ist noch die Bemerkung nöthig, daß von den motorischen Rückenmarksfasern außer den Muskeln des Rumpfes und der Extremitäten noch verschiedene, muskulöse Eingeweide versorgt werden. Man will vom Rückenmark aus erregt haben: die Pupille *), den Magen, den Darm, den Uterus, die Samenleiter, Samenblasen, die Harnleiter und die Urinblase. Die einzelnen Nervenbahnen, welche die betreffenden Nervenfasern enthalten, sind nicht hinlänglich bekannt. Mehrfache Versuche deuten darauf hin, daß nicht selten diesem oder jenem Eingeweide auf mehrfachem Wege Fasern aus dem Rückenmark zufließen **). Für viele Fälle aber ist sowohl überhaupt die

*) Siehe S. 165.

**) Kilian, Einfluß der medulla oblongata auf die Bewegungen des uterus. Henle's und Pfeuffer's Zeitschrift. Neue Folge, Bd. II, S. 1.

Abhängigkeit der beobachteten Bewegungen von Rückenmarksfasern, als auch ihre Natur zweifelhaft, weil nämlich die Eingeweide vielfach durch in ihrer Substanz vorhandene Erregungsapparate spontan in Bewegungen verfallen und weil, da alle in die Eingeweidehöhlen verlaufende Rückenmarksfasern vielfach die Ganglien des Sympathicus durchsetzen, nicht selten unklar bleibt, ob man es mit einfachen Reizbewegungen oder reflectorischen zu thun habe. Besonderes Zutrauen scheinen mir diejenigen Angaben zu verdienen, denen zu Folge nach dem *Durchschneiden* einzelner Nerven oder nach Zerstörung einzelner Rückenmarkspartieen gewisse motorische Effecte beobachtet wurden; da diese frei sind von den mannigfachen Fehlern der gewöhnlichen Reizversuche. Hierher rechne ich unter andern die Verengerung der Pupille beim Frosch nach *Durchschneiden* der vordern Wurzeln des zweiten und dritten Spinalnerven und die Lähmung des detrusor urinae nach Zerstörung des Rückenmarks bei Menschen und Thieren *). Jedenfalls verdient dieser Punct wegen seiner practischen Bedeutung eine wiederholte, gründliche Untersuchung. Die Verbreitung der *sensibeln* Fasern, insofern sie sich in der Haut ausbreiten, läßt sich dagegen bei Thieren leichter und zwar auf folgende Weise ermitteln. Man durchschneidet alle hintern Wurzeln mit Ausnahme derjenigen, deren Verbreitungsbezirk ausgemittelt werden soll und prüft dann, von welchen Hautstellen aus noch Reflexbewegungen erregt werden können, womit die Frage unmittelbar gelöst ist. Auf diese Weise habe ich beim Frosch die Verbreitungsflächen der sensibeln Wurzeln der vier letzten Nervenpaare des Frosches bestimmt **). Zu welchen einzelnen Theilen in der Region der Eingeweide sich die sensibeln Fasern der verschiedenen Rückenmarksnerven begeben, ist unbekannt.

C) *Die Ganglien und der Sympathikus.*

An verschiedenen, oft weit von dem Cerebrospinalorgan entfernten Stellen des thierischen Körpers finden sich Anhäu-

*) Axmann, das Gangliennervensystem, S. 4 und 72.

**) Henle's und Pfeuffer's Zeitschrift. Bd. VII, S. 211.

funken, *Ganglien*, von Nervensubstanz in der microscopischen Form von Zellen — *Ganglienzellen*. Jene entsenden Nerven zu verschiedenen Theilen, namentlich in größerer Menge zu den Eingeweiden und stehen überdies durch Fasern unter sich und mit dem Cerebrospinalorgan in Verbindung. Dieses ganze System belegt man, ohne irgendwie Rücksicht auf seine feinere, anatomische Structur zu nehmen, gewöhnlich mit dem Namen des *Sympathikus*. Sobald man jedoch dem Histologen die Bestimmung dieses Begriffes übergibt, erhält man von einander abweichende Angaben. Die einen*) behaupten, daß zahlreiche Ganglienzellen, namentlich die der Spinal- und mancher Visceralganglien, nach *zwei* Seiten hin Fasern entlassen, von denen sich die eine nach der Peripherie, die andere nach dem Cerebrospinalorgan wende. Die vollkommene Consequenz dieser Ansicht, welche indess die betreffenden Autoren nicht als nach allen Seiten vollkommen begründet ansehen, würde die Behauptung sein, daß ein von dem Cerebrospinalorgan räumlich getrenntes, sympathisches System gar nicht existire. Doch müßte die genannte Lehre für diese Verflechtung nicht mehr anatomisch rein cerebrospinaler Fasern eine bestimmte Bezeichnung wählen, um so mehr, als denkbar wäre, daß jenen in Folge der gangliösen Anschwellung und besonderer, um diese herumgelagerter Molekular- und Körnermassen, besondere Kräfte eigenthümlich wären. Die andern**), und dies scheint die Mehrzahl zu sein, versichern, ohne indess das Vorkommen bipolarer Ganglienzellen zu leugnen, für welche Anordnung sie sich aber die Annahme vorbehalten, daß die nach dem Centrum gerichtete Faser in diesem kein centrales Ende habe, daß in der bei weitem größern Anzahl der Fälle die Ganglienzellen entweder gar keinen oder nur einseitigen Faserursprüngen dienen. Diese begreifen dann die Gesammtheit dieses,

*) Siehe R. Wagner, Sympathischer Nerv, Ganglienstructur und Nervenendigungen in dessen Handwörterbuch der Physiologie.

**) Bidder und Volkmann, die Selbstständigkeit des sympathischen Nervensystems.

Köl liker, Microscopische Anatomie II, 1. S. 522.

neben dem Cerebrospinalorgan und dessen Nerven vorkommenden Systems von Fasern nebst ihren Ursprungsstätten unter der Benennung des Sympathikus und lassen die cerebrospinalen Fasern ohne weitere, formelle Aenderungen durch das specifisch-sympathische System hindurchtreten.

Die *Physiologie* hat bei ihren bisherigen Untersuchungen den Begriff des Sympathikus in jenem, so zu sagen, gröberen, anatomischen Sinn genommen, indem sie sich bewußt war, daß wenn es ihr gelingen sollte, in diesem Gebiete das Dasein von dem Cerebrospinalorgan unabhängig wirkender Kräfte ausfindig zu machen, es ihr dennoch, trotz der erstern Gruppe von Histologen, gestattet sein müßte, von der physiologischen Selbstständigkeit dieses Nervencomplexes zu reden und denselben mit einem besondern Namen zu belegen. Alle bisher in dieses Gebiet einschlagende Bestrebungen drehen sich vorzugsweise um die Beantwortung folgender zwei Fragen :

1) *Welche Nervenerscheinungen werden im Gebiete des Sympathikus beobachtet, deuten diese auf in demselben vorkommende Elemente hin, welche physiologisch als Centralorgane zu betrachten sind, und wenn dies der Fall ist, welches sind die anatomischen Grundlagen derselben?* In Bezug hierauf darf man Folgendes behaupten :

a) *Die von dem Sympathikus versorgten Theile sind sensibel.* Diese Sensibilität ist indeß dadurch charakterisirt, daß sie nur als *Gemeingefühlsempfindungen* und *nur unter besondern Verhältnissen* auftritt. In der That, bei jedem Athemzuge reiben sich unsere Lungen an dem serösen Ueberzuge der Brusthöhle, gleichzeitig drücken wir das Zwerchfell gegen die Unterleibsorgane und verursachen dadurch einen Druck derselben gegen einander und die Bauchwandungen. Gleichwohl gelingt es uns aber nicht, eine Vorstellung von den gegenseitigen Lagerungsverhältnissen der in jenen Höhlen liegenden Eingeweide zu erhalten, ja es kommt für gewöhnlich nicht einmal eine Empfindung überhaupt zu Stande. Man sollte hiernach an einer Sensibilität der vom Sympathikus versorgten Theile zweifeln. Indessen wird diese unwiderleglich durch die heftigen Schmerzen krankhafter Eingeweide bewiesen. Die Ex-

perimente, welche man an gesunden Thieren in Bezug auf diesen Punkt angestellt hat, weichen in ihren Resultaten vielfach von einander ab, stimmen jedoch darin überein, daß sie das Empfindungsvermögen des Sympathikus gegenüber dem der nur von Cerebrospinalnerven versorgten Theile als ein relativ geringes kennen lehren. Man kann die Frage aufwerfen, worin es seinen Grund habe, daß das sensible Vermögen des Sympathikus, welches für gewöhnlich auf ein Minimum reducirt ist, unter bestimmten Verhältnissen diese besondere Ausbildung erlange. Manche finden mit Volk mann*) wahrscheinlich, daß in den gesunden Verhältnissen des leiblichen Lebens nur die im sympathischen System vorhandenen Cerebrospinalfasern und nicht die specifisch sympathischen der Empfindung dienen, daß die letztern aber in heftigen Krankheiten zu empfindenden werden, indem sich eigenthümliche Verhältnisse der Querleitung zwischen ihnen und den Hirnrückenmarksfasern, vielleicht in den Ganglien, ausbilden. Es stützt sich diese Hypothese auf die beiden folgenden Wahrscheinlichkeitsgründe: α) die Anzahl der cerebrospinalen Fasern ist verhältnißmäßig zu gering, um die *heftigen* und *ausgedehnten* Schmerzen in manchen Krankheiten zu erklären. β) Den Lehren der microscopischen Anatomie zu Folge entspringen von den Ganglien eine Menge Nervenfasern. Wollte man diese nun für gewöhnlich schon der Vermittelung von Empfindung dienend ansehen, so müßte man annehmen, daß sie ihre Erregungszustände auf sensible Cerebrospinalfasern übertrügen, eine Annahme, welche für das gesunde Leben ihre Bedenklichkeiten hat, da nachweislich während desselben Reflexbewegungen vom Gebiete des Sympathikus aus in willkürlichen Muskeln nicht sehr häufig sind. Man braucht indeß nicht nothwendig zu jener Annahme seine Zuflucht zu nehmen; denn, wenn man sich erinnert, von welchen heftigen Schmerzen die Verletzung nur weniger sensibler Hautnerven begleitet

*) dessen Artikel: Nervenphysiologie in Wagner's Handwörterbuch der Physiologie, Bd. II, S. 603.

sein kann und dafs wahrscheinlich da, wo eine gröfsere Menge von Nervenfasern in gewissen Flächen sich ausbreitet, diese zur Erregung besonderer Gefühle und namentlich der Vorstellung der Oertlichkeit dient, solche Empfindungserscheinungen aber im Gebiet des Sympathikus nicht vorkommen, so ist nicht einzusehen, warum die in der Region der Eingeweide verlaufenden cerebrospinalen Fasern zur Erklärung der genannten Erscheinungen nicht ausreichen sollten.

b) *Im Gebiete des Sympathikus kommen selbsterregende Stellen vor, deren Sitz in den Ganglien zu suchen ist.* Diese Selbsterregung zeigt sich aber : α) *als bewegende.* Dafs die muskulösen Eingeweide unabhängig von den Wirkungen des Cerebrospinalorgans Bewegungen vollziehen, ist nicht zu leugnen; indem wir nach zerstörtem Hirn und Rückenmark den Darm, die Tuben, den Uterus etc. in Bewegungen verschiedener Form und Verkettung verfallen sehen. Aber die Deutung derselben unterliegt in bei weitem den meisten Fällen gewissen Unsicherheiten, weil uns die Mittel nur sparsam zuertheilt sind, zu unterscheiden, ob die Bewegungen in Folge künstlich gereizter Nerven, oder einer directen Reizung der Muskelsubstanz, oder schliesslich der Wirkung besonderer, nervöser Erregungsapparate geschehen. Die Gründe dieser Unsicherheit liegen aber zum Theil in der mangelhaften, anatomischen Kenntnifs von der Anordnung der Nervenfasern in den sich bewegenden Theilen, zum Theil in der unvollkommenen Einsicht in die physiologischen Leistungen der glatten Muskelfaser als solcher, zum Theil aber und hauptsächlich in den besonderen Eigenthümlichkeiten der in Rede stehenden Bewegungen. Untersucht man die letztern genauer, so findet man, dafs sie durch folgende Merkmale charakterisirt sind : mit Ausnahme weniger Fälle sind sie weder räumlich noch zeitlich scharf begrenzt, sondern verketteten sich mannigfach unter einander, scheinbar ohne Ordnung und Regel; sie sind von mannigfachen, nicht zu beherrschenden Einflüssen in ihrer Entstehung und den verschiedensten Graden ihrer Ausbildung abhängig, so namentlich von der Ernährung, dem Blutlauf, der Temperatur, der Ruhe oder Thätigkeit nachbarlicher

Theile u. s. w.; endlich aber erweisen sich alle Effecte von Reizversuchen, aus welchen sich etwa Schlüsse über die Natur der gedachten Bewegungen würden ableiten lassen, weder stets übereinstimmend, noch mit der wünschenswerthen, räumlichen und zeitlichen Abgrenzung behaftet. Aus diesen Bemerkungen folgt, daß man mit besonderer Vorsicht bei der Bestimmung der Natur im Gebiete des Sympathikus vorkommender Bewegungen zu verfahren hat. Um nun dennoch unter solchen ungünstigen Verhältnissen die Gegenwart motorischer Erregungsapparate mit einiger Sicherheit darzuthun, macht die Physiologie auf folgende Thatsachen aufmerksam: Wir haben oben*) gesehen, daß wir uns die Herzbewegungen in letzter Instanz als von den in dem Herzmuskel gelegenen Ganglienkugeln abhängig denken müssen. Wir gelangten zu diesem Schluß durch die Beobachtung, daß sich das aus dem Leibe herausgeschnittene, mithin den Einflüssen des Cerebrospinalorgans sicher entzogene Herz noch in der ihm eigenthümlichen, geordneten Weise zusammenzieht, für welche Erscheinung der Grund gesucht werden durfte weder in einer Reizung der Herznerven von aussen, z. B. durch das Blut, denn der Herzschlag setzt sich im blutleeren und den gewöhnlichen, äußern Reizen ausgesetzten Herzen aus denselben, einzelnen Momenten und in derselben zeitlichen Folge zusammen, wie im mit Blut erfüllten und in seinen normalen Verhältnissen sich befindenden; noch in der etwaigen Fähigkeit der Herzmuskelsubstanz selber, sich zusammenzuziehen, da wir**) mit hoher Wahrscheinlichkeit ihr dies Vermögen absprechen müssen, aber selbst, wenn es ihr zugestanden würde, wir kein durch die Erfahrung begründetes Recht haben, *zeitlich geordnete* Bewegungen durch sie entstehen zu lassen, vor allen Dingen aber, weil nachweislich mit der Entfernung einer gewissen Menge von Ganglienkugeln der Rhythmus der Herzbewegungen zu Grunde geht. Ferner ist bekannt, daß nach Zerstörung

*) Siehe S. 134.

**) Siehe S. 61.

des Cerebrospinalorgans, mit Ausnahme der medulla oblongata, da nur mittelst dieser die zur Ernährung der einzelnen Theile nothwendigen Bedingungen herzustellen sind, noch eine Menge von Bewegungen, so namentlich die Zusammenziehung der Muskulatur des Darmrohres, vor sich gehen können. Nun mögen zwar Contractionen der glatten Muskelfasern ohne Mitwirkung von Nerven zu Stande kommen, allein die *zweckmäßigen* Bewegungen des Darmkanales, wodurch die Fortführung seines Inhaltes bewerkstelligt wird, macht es in Verbindung mit den vorhererwähnten Thatsachen sehr wahrscheinlich, daß diesen Erscheinungen Apparate zu Grunde liegen, deren Erregungen sich zu einem geordneten Ganzen zusammensetzen. Man würde diese Erfahrungen zu strengen Beweisen für die motorischen Kräfte der Ganglien umgestalten können, wenn es möglich wäre, durch die Exstirpation der letztern gewisse Erregungserscheinungen zu eliminiren. Leider scheint man bei den Wirbelthieren vorerst diese Hoffnung aufgeben zu sollen; denn jene Ganglien liegen oft tief in der Substanz der Eingeweide vergraben, sind überdies vielfach microscopisch und endlich scheinen die einzelnen Bewegungserscheinungen ihren Ursprung dem *gemeinsamen Zusammenwirken* mehrer Erregungsapparate zu verdanken, so daß hier ein sicheres Experimentiren mit fast unüberwindlichen Schwierigkeiten zu kämpfen haben würde. Schließendlich endlich findet man das motorische Vermögen der Ganglien der höhern Thiere bis zur Gewissheit wahrscheinlich durch die Beobachtungen an wirbellosen Thieren. Die Ganglien dieser sind nämlich im Wesentlichen nicht anders gebaut als die unseres Sympathikus; von ihnen aber hat das Experiment gelehrt, daß mit der Zerstörung einzelner Ganglien, welche sich hier ziemlich sicher ausführen läßt, gewisse Bewegungen in Wegfall kommen. Leider hat man noch nicht die Abhängigkeit solcher von verschiedenen Ganglien bei einem wirbellosen Thiere zum Gegenstand einer genauern Untersuchung gemacht und doch dürfte sich gerade hier der Schlüssel zum nähern Verständniß der motorischen Wirkungen der Ganglien finden und insbesondere sich die Frage lösen lassen, wie zur Erzeugung

gewisser motorischer Effecte die combinirte Wirkung mehrerer einzelner Centra nöthig ist.

β) *als der Ernährung und Absonderung vorstehende.* Im Allgemeinen könnte man dies schon durch die Erfahrungen als bewiesen ansehen, daß nach Zerstörung von Hirn und Rückenmark die vegetativen Processe noch fortbestehen; es wird in solchen Fällen noch verdaut, noch Harn und Galle abgesondert, absichtlich gemachte Wunden heilen wieder u. s. w. *) Doch sind derartige Beobachtungen nicht beweisend, indem denkbar wäre, daß jene Functionen von den betreffenden Organen auch ohne Mitwirkung der in ihnen sich verzweigenden Nerven ausgeführt werden könnten. Wichtiger werden daher die Beobachtungen der Erscheinungen, welche der Durchschneidung gewisser sympathischer Zweige folgen. Sollen indess solche Experimente von sicherem Erfolg sein, so ist es oft nöthig, die sympathischen Fasern in größerer Menge außer Wirksamkeit zu setzen, weil nicht selten ein und dasselbe Organ aus verschiedenen Quellen seine Fasern bezieht. Versuche der Art sind in der physiologischen Literatur überall verzeichnet, ob sie aber alle frei von Irrthümern sind, dies ist eine andere Frage. Wir heben einige davon heraus. Joh. Müller und Peipers fanden nach zerstörtem Nierengeflecht im Harn die Bestandtheile des Blutes; Krimer, welcher dasselbe Experiment ausführte, gibt noch an, weniger Harnstoff als gewöhnlich im Harn gefunden zu haben. Reid und Longet beobachteten nach Durchschneidung des Sympathikus am Halse auffallende Degenerationen und Auswüchse in der Nachbarschaft, ja Entzündung und selbst Vereiterung des Auges. Indess können uns diese und ähnliche Experimente hier, wo wir im Gebiete des Sympathikus nach Stellen suchen, von denen als Centralorganen aus Absonderung und Ernährung geleitet werden, zu Nichts dienen, indem man nicht weiß,

*) Erfahrungen über diesen Gegenstand sehe man bei: Bidder, Müller's Archiv, 1844 und Axmann, Beiträge zur microscopischen Anatomie und Physiologie des Gangliennervensystems, S. 70.

ob und wie viel an dem Zustandekommen der vorher beschriebenen Erscheinungen der Wegfall der Rückenmarkseinflüsse Theil hatte. Mit Rücksicht hierauf sind in neuerer Zeit von Axmann Versuche angestellt worden *). Wir heben von seinen Angaben nur die Behauptung heraus, daß die *Ernährung der Extremitäten, die Secretion der Galle und des Urines durch die Spinalganglien vermittelt werde*. Er fand nämlich, nachdem er die Extremitätennerven zwischen dem ganglion spinale und dem Zutritt des ramus communicans n. sympathici durchschnitten hatte, an den Extremitäten hier und da kleine Blutextravasate, Ansammlung pathologischer Flüssigkeiten unter der Haut und im Bauch, die Muskeln weich, ebenso Leber und Nieren, die Gallenblase nicht mit Galle, sondern mit hellem Serum angefüllt. Er fügt nun ausdrücklich hinzu, daß er von all diesen Erscheinungen bei alleiniger Zerstörung des Hirn- und Rückenmarks *Nichts* beobachtet habe. Treten wirklich diese Erscheinungen in der angegebenen Bestimmtheit auf, so ist klar, daß die der Ernährung und Secretion vorstehenden Kräfte in den Spinalganglien entwickelt werden. Hiermit ist die Beobachtung derjenigen Anatomen, Axmann, Kölliker, in Uebereinstimmung, daß die Ganglienzellen der Spinalganglien, je eine einer Nervenfasern, zum Ursprung dienen, welche theils mit dem Stamm des betreffenden Rückenmarksnerven in die Gewebe der Extremitäten, theils im ramus communicans in das Eingeweidesystem dringen. Ferner werden die in Rede stehenden Kräfte der Ganglien durch die Beobachtungen von Fodera, Magendie und Longet am trigeminus bewiesen. Diese geben nämlich an, daß die Störungen in den Nutritions- und Absonderungsverhältnissen unvergleichlich beträchtlicher ausfallen, wenn die Durchschneidung des genannten Nerven *vor*, als wenn sie *hinter* dem ganglion Gasseri ausgeführt wird. Schließlich könnten noch die pathologischen Veränderungen in dem Verbreitungsbezirke des nervus vagus nach seinem Durchschneiden hierher gezo-

*) l. c. S. 74 ff.

gen werden, da man dies gewöhnlich unterhalb des plexus ganglioformis vornimmt, allein man müßte verlangen, daß diese vorerst mit den Resultaten verglichen würden, welche eine Durchschneidung dieses Nerven oberhalb jenes ganglion zur Folge haben könnte.

c) *Die Ganglien bilden auch die Centra reflectorischer Erscheinungen.* Gesteht man einmal zu, daß die Ganglien der Sitz erregender Kräfte sind, so versteht es sich, in Erinnerung an die Functionen des Cerebrospinalorgans, fast schon von selbst, daß sie auch reflectorischen Erscheinungen vorstehen werden, freilich könnten möglicher Weise die zu diesen nothwendigen, beiden Faserklassen nicht vorhanden sein. Aber die Zahl der Experimente, welche geeignet sind, jenes Vermögen der Ganglien zu beweisen, ist ziemlich gering. Ueberall stößt man auf Schwierigkeiten, von denen die bedeutendsten die sind, daß wir weder über die anatomischen Verhältnisse des Sympathikus hinlänglich aufgeklärt sind, noch alle, wie bereits erwähnt, in seinem Gebiete vorkommende Bewegungen diejenige Bestimmtheit haben, um nur *einer* Auslegung fähig zu sein. Da dies namentlich mit denen des Darmkanals der Fall ist, so müssen vorerst alle an demselben angestellte Experimente als verdächtig entfernt werden. Dann dürften etwa noch folgende Beobachtungen übrig bleiben. Häufig zieht man das folgende, zuerst von Volkmann*) angestellte Experiment als das reflectorische Vermögen der Ganglien beweisend an. Das Herz eines des Hirns und Rückenmarks beraubten Frosches schlug in einer Minute 50 mal; nachdem aber der eine Hinterfuß mit einem Hammerschlag zermalmt worden war, pulsirte es 70 mal in der Minute. Da indess der Versuch nur wenige mal mit ähnlichem Erfolg sich hat wiederholen lassen, so handelt es sich hier offenbar noch um die Herstellung gewisser Bedingungen, welche zur Zeit noch unbekannt sind, und es dürfte daher gerathener sein, die

*) Artikel : Nervenphysiologie in R. Wagner's Handwörterbuch der Physiologie, Bd. II, S. 606.

Kenntniß derselben erst abzuwarten, ehe man diesem Experiment die volle Beweiskraft zugesteht. Beweisender dagegen ist ein Theil der auf Reize erfolgenden Herzbewegungen. Reizt man das aus dem Leibe herausgeschnittene und noch kräftig fortschlagende Froschherz an irgend einer beschränkten Stelle, so folgt jedem Reize eine vollständige Herzcontraction. Eine solche ist weder eine reine Reizbewegung, noch eine automatische; sie ist das erstere nicht, weil dem localen Reiz keine locale Zusammenziehung folgt; sie ist aber auch das letztere nicht, weil zu *jeder* Zeit, auch dann, wenn in Folge des automatischen Erregungsapparates keine Systole zu erwarten ist, der Reiz eine Pulsation auslöst, vor allen Dingen aber, weil die genannte Beobachtung auch noch dann am Herzen gemacht werden kann, wenn das den gewöhnlichen Rhythmus beherrschende Bewegungscentrum durch Vagusreizung außer Wirksamkeit gesetzt ist*). Jene Bewegungen müssen daher als reflectirte angesehen werden, und da solche ein in der Substanz des Herzens liegendes, reflectorisches Centrum voraussetzen, ist dies, gemäß unsern bisherigen Erfahrungen über die Natur der Ganglien, in die des Herzens zu verlegen. Dafs man mit diesem Schlufs das Rechte getroffen, geht aus folgender Beobachtung Bidder's**) hervor. Dieser wies nämlich nach, dafs mit der Entfernung der beiden in dem Ventricularrande des Froschherzens gelegenen Ganglien die reflectorischen Bewegungen des Herzventrikels aufhören, indem dann im Allgemeinen jede beschränkte Reizung der Oberfläche desselben keine Pulsation, sondern nur eine partielle Zusammenziehung an ihm bewirkt. Endlich kann man noch folgende pathologische Erfahrung hier anreihen***). An einer mit Anästhesie im Gebiete des trigeminus behafteten Person, bei welcher die von diesem Nerven versorgten Flächen

*) Siehe oben S. 133.

**) Ueber functionell verschiedene und räumlich getrennte Nervencentra im Froschherzen. Müller's Archiv, 1852, S. 174.

***) Axmann, l. c. S. 131.

völlig insensibel waren, die trophischen Functionen aber ungestört fortbestanden, beobachtete man, daß nach Reizung der unempfindlichen Conjunctiva und der Nasenschleimhaut vermehrte Thränensecretion erfolgte. Man würde zu schließen haben, daß hier die Entartung des trigeminus jenseits des ganglion Gasseri bestanden und daß für die auf reflectorischem Wege vermehrte Absonderung das Centrum in das genannte ganglion zu setzen wäre. Wie bei den bisher dargestellten Erscheinungen die verschiedenen Faserklassen, die cerebrospinalen und ächt sympathischen betheiligt sind, kann man nicht mit Sicherheit angeben.

2) *Welche einzelnen Theile werden von den einzelnen Abtheilungen des Sympathikus beherrscht?* Zur Lösung dieser Frage hat man sich theils der Methode der Durchschneidung, theils der Reizung bedient. Aber unsere Kenntnisse über diesen Punkt sind sehr unsicher; denn im sympathischen System stellen sich zumeist die Effecte der künstlichen Reizung nicht mit der Präcision ein, wie im Cerebrospinalsystem und welche man wünschen muß, wenn Reizversuche zu sichern Schlüssen führen sollen. Diese Unsicherheit wird noch bedeutend durch die Erfahrung vermehrt, daß sehr viele Theile, an denen die Wirkungen der Reizung zum Vorschein kommen sollen, spontan in Bewegungen verfallen und somit die Resultate in nicht immer bestimmbarer Weise trüben. Leider hat man auf diese Umstände sehr wenig Rücksicht genommen. Aus diesen Gründen ersuche ich den Anfänger, an allen hierher gehörigen Angaben unbegrenzte Kritik zu üben. Wir theilen folgende Einzelheiten mit:

a) Tetanisiren des Halstheils des Grenzstranges bringt *Erweiterung der Pupille* hervor. Erst vom ganglion cervicale infimum an ist diese Wirkung zu beobachten und erhält sich, nach oben fortschreitend, bis zum Eintritt des ramus caroticus in das ganglion Gasseri. Zwar fand schon Petit, daß dem *Durchschneiden* des Sympathikus am Halse *Verengerung* der Pupille folge. Diesen Widerspruch aber erklärt Budge für einen scheinbaren durch die Annahme, daß der Sympathikus ein Uebergewicht über seinen Antagonisten, den nervus

oculomotorius habe und dafs folglich mit der Durchschneidung jenes dieses Uebergewicht wegfalle. Uebrigens hat Budge bewiesen, dafs die in der Bahn des Sympathikus verlaufenden Pupillarnervenfasern ihren Ursprung aus dem Rückenmark mittelst der vordern Wurzeln und zwar beim Frosch aus dem zweiten und dritten Spinalnerven nehmen, indem Durchschneiden jener Wurzeln, sowie Zerstörung des Rückenmarkstheils, von welchem sie ihren Ursprung nehmen, eine *dauernde Verengung* der Pupille, wie eine solche die Trennung des Sympathikus begleitet, zur Folge hat, während Durchschneiden der hintern Wurzeln nur transitorische Wirkungen hervorbringt *).

b) Durchschneidung des Cervicaltheiles hat ausserdem noch Einflüsse auf die *Ernährungserscheinungen am Hals und Kopf*. Die Gefässe der conjunctiva röthen sich, die Thränen quellen in reichlicherem Mafse hervor und es wird eine gröfsere Menge Schleim abgesondert. Gleichzeitig nimmt nach Bernard **) die Haut des Kopfes eine höhere Temperatur an. Ein Theil dieser Erscheinungen hat vielleicht in einer vermehrten Blutzufuhr, welche man sich durch eine Lähmung der Gefässnerven bewirkt denkt, ihren Grund.

c) Ferner wird behauptet, dafs Reizung des Cervicaltheiles *Zusammenziehungen der Speiseröhre* bewirke. Diese Angabe ist jedoch unsicher, um so mehr, als es scheint, dafs in jener automatische Erregungsapparate vorhanden sind; wenigstens gibt Henle ***) an, am herausgeschnittenen Schlund des Hundes peristaltische Bewegungen gesehen zu haben.

d) Ebenso verhält es sich mit der, dafs man durch Reizung desselben Theiles *beschleunigte Zusammenziehung des Herzens* bewirken könne, indem Ludwig †) diese Behauptung

*) Die *ältere* Literatur über diese Angelegenheit findet sich bei Stilling : Untersuchungen über die Spinalirritation, S. 129; die neuere in Canstatt's Jahresbericht der Biologie; 1851, S. 164 und 1852, S. 190.

**) Compt. rend., 1852. Févr.

***) Dessen Zeitschrift, neue Folge, Bd. II, S. 302.

†) Lehrbuch der Physiologie, Bd. I., S. 178.

für das Kaninchen in Folge von Weinmann angestellter Versuche mit Bestimmtheit in Abrede stellt.

e) Reizung der *pars thoracica* soll die größern Gefäßstämme, nämlich die *Brustaorta*, *Hohlvenen*, *ductus thoracicus*, außerdem die *dünnen Därme*, die Erregung der *nervi splanchnici*, überdies noch den *Gallengang* (beim Pferde) contrahiren machen.

f) Vom *plexus solaris* und *mesaraicus* will man die *dünnen Därme*, von der *pars lumbalis* und *sacralis* den *Dünndarm*, *Blinddarm*, *Grimmdarm*, *Mastdarm*, die *Harnleiter*, *Samenleiter*, die *Urinblase*, *Fallopischen Röhren* und den *Uterus* in Bewegung gesetzt haben.

Literatur der Physiologie des Nervensystems.

Zwar ist schon auf die Hauptschriften gelegentlich aufmerksam gemacht worden, allein es ist nöthig, noch einmal hier diejenigen zusammenzustellen, deren Studium Jedem, welcher tiefer und allseitig in unser Gebiet eindringen will, unerläßlich ist :

- 1) **du Bois-Reymond** : *Untersuchungen über thierische Electricität, I. Band und II. Band, 1. Abtheilung.* Die hier niedergelegten Untersuchungen berühren zwar nicht sämmtlich unsern Gegenstand; aber es ist geradezu unmöglich, die betreffenden Abschnitte im Einzelnen zu studiren. Wir rathen daher, mit Muth und Ausdauer sich dem Studium dieses Werkes zu unterziehen, namentlich auch die mannigfachen, vorbereitenden, physikalischen Studien, ohne welche ein tieferes Verständniß unmöglich ist, nicht zu scheuen. Ich glaube aus Erfahrung versichern zu können, daß der geistige Gewinn dieser Arbeit ein ganz unverhältnißmäßig hoher Lohn ist.
- 2) **Helmholtz** : *Messungen über den zeitlichen Verlauf der Zuckung animalischer Muskeln und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den Nerven.* Müller's

Archiv, 1850, und : *Messungen über Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den Nerven. Zweite Reihe.* Müller's Archiv, 1852. Beide Arbeiten sind deshalb für die Nervenphysiologie von so hoher Bedeutung, weil hier eine der schwierigsten Fragen der Nervenphysik mit einer Schärfe und Eleganz der Methoden gelöst ist, welche man bisher nur in den physikalischen Wissenschaften zu suchen gewohnt war.

- 3) **E. H. Weber** : *Der Tastsinn und das Gemeingefühl*; in R. Wagner's Handwörterbuch der Physiologie. Diese Arbeit ist wohl ohne Widerrede als die Grundlage der Empfindungslehre zu betrachten und kann als ein Muster der Darstellung Allen empfohlen werden.

Von den Schriften, welche die ganze Nervenphysiologie umfassen, nenne ich :

- 4) **Ludwig** : *Lehrbuch der Physiologie des Menschen, I. Bd.* Ausgezeichnet durch die Prägnanz der Darstellung und eigne, scharfe Kritik der Thatsachen.
- 5) **Volkmann** : *Nervenphysiologie* in R. Wagner's Handwörterbuch der Physiologie. Die bedeutendste Arbeit über unsern Gegenstand aus der Zeit vor den umgestaltenden Entdeckungen du Bois-Reymond's.
- 6) **Longet** : *Anatomie und Physiologie des Nervensystems*; übersetzt von J. A. Hein. Nützlich wegen ausführlicher Mittheilung der Thatsachen und der Literatur; gleichfalls aber aus der Zeit vor du Bois.



Druckfehler :

S. 9 in Gl. 12 lies nL statt nλ.

S. 60 Z. 12 v. u. lies §. 12, B. 2 statt §. 12, 3.

Grundzüge

der

Physiologie des Nervensystems.

Von

Dr. C. Eckhard,

Prosector an der Anatomie und Assistent des physiologischen Instituts zu
Gießen.

Gießen, 1854.

J. Ricker'sche Buchhandlung.



In gleichem Verlage ist erschienen :

- Bischoff, Th. L. W.**, Beweis der von der Begattung unabhängigen periodischen Reifung und Loslösung der Eier der Säugethiere und des Menschen als der ersten Bedingung ihrer Fortpflanzung. 1844. 4. 15 Ngr.
- — Entwicklungsgeschichte des Meerschweinchens. Mit 8 Kupfertafeln. 1852. gr. 4. Rthl. 3.
- — der Harnstoff als Maafs des Stoffwechsels. 1853. gr. 8. Rthl. 1.
- Forget, C.**, Grundrifs der Krankheiten des Herzens, der Gefäße und des Blutes. 1852. gr. 8. Rthl. 2.
- Hoffmann, S.**, das Protein und seine Verbindungen in physiologischer und nosologischer Beziehung. 1842. gr. 8. 10 Ngr.
- Leuckart, R.**, über den Polymorphismus der Individuen oder die Erscheinungen der Arbeitstheilung in der Natur. Ein Beitrag zur Lehre vom Generationswechsel. 1851. 4. 10 Ngr.
- — zoologische Untersuchungen. I. Heft. Siphonophoren. Mit 3 lithogr. Tafeln. 1853. gr. 4. Rthl. 2. 20 Ngr.
- Szokalski, V.**, über die Empfindungen der Farben in physiologischer und pathologischer Hinsicht. 1842. gr. 8. Rthl. 1.
- Welcker, H.**, über Irradiation und einige andere Erscheinungen des Sehens. Mit 8 lithogr. Tafeln. 1852. gr. 8. Rthl. 1. 10 Ngr.
- Wernher, A.**, Handbuch der allgemeinen und speciellen Chirurgie. 1. bis 12. Heft. 1846 bis 1853. gr. 8. Rthl. 10.
- — Beiträge zur Kenntnifs der Krankheiten des Hüftgelenks, Malum coxae senile, Coxalgie und Fractura intracapsularis colli femoris. Mit 3 lithogr. Tafeln. 1847. gr. 4. Rthl. 1.
- — die angeborenen Kysten-Hygrome und die ihnen verwandten Geschwülste in anatomischer, diagnostischer und therapeutischer Beziehung. Mit 4 lithogr. Tafeln. 1843. gr. 4. Rthl. 1.
- Wilbrand, F. J. J.**, Anatomie und Physiologie der Centralgebilde des Nervensystems. Mit 1 Steindrucktafel. 1840. gr. 8. Rthl. 1.
- — Beiträge zur Würdigung der arzneilichen Wirkungen des Kreosot's. 1834. 8. 7½ Ngr.
- — Leitsaden bei gerichtlichen Leichenuntersuchungen. 1841. gr. 4. 15 Ngr.
- — über processus supracondyloideus humeri et femoris. Ein Beitrag zur vergleichenden Osteologie des Menschen. Mit 1 Steindrucktafel. 1843. gr. 4. 5 Ngr.

Eckhard, Conrad,

Grundzüge der Physiologie des Nervensystems

Giessen 1854

Anat. 154 i

urn:nbn:de:bvb:12-bsb10368212-9